

Corrosión de acero SAE 1018 en aguas amargas colectadas de la industria del petróleo: efecto de la temperatura y de cloruros.

Esparza Zúñiga E. M.¹, Veloz Rodríguez M. A.^{1,*}, Uruchurtu Chavarín J.²,
Reyes Cruz V. E.¹.

¹ Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carr. Pachuca Tulancingo Km 4.5, Col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hgo.

² Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Mor..

*e-mail: mveloz@uaeh.reduaeh.mx

En este trabajo, se presentan resultados obtenidos de la evaluación electroquímica de un sistema de acero al carbono SAE1018, sumergido en una muestra de agua amarga colectada en la industria del petróleo, variando la temperatura (25 a 50°C), con agitación; y modificando la concentración de cloruros (20 a 50 ppm), sin y con agitación. La evaluación se realizó utilizando técnicas de ruido electroquímico, polarización lineal, polarización de Tafel y obteniendo imágenes de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Los resultados, mostraron la presencia de productos de corrosión de estructuras diferentes, que pueden ocasionar una modificación en el daño al material; principalmente para las temperaturas de 30 y 50°C. Asimismo, cuando se modificó la cantidad de los cloruros presentes en la solución, sin agitar, las imágenes de MEB, mostraron la ausencia de productos de corrosión, sin embargo, se pueden visualizar algunas cavidades o picaduras; y las concentraciones donde se observaron cambios en el comportamiento fueron a 30 y 40 ppm. Sin embargo, cuando se agitó el sistema, los resultados exhibieron la presencia de productos de corrosión similares entre las diferentes concentraciones, que podría originar que no se observen cambios significativos en el daño ocasionado al material expuesto.

Palabras claves: Corrosión, aguas amargas, acero SAE 1018, temperatura, cloruros.

1. Introducción

Uno de los principales problemas de corrosión, que se presentan en la refinación del petróleo, es el relacionado con los medios amargos generados en las torres de destilación de las plantas primarias, donde la presencia de sulfuros y orgánicos en pequeñas cantidades provocan daños a los equipos que en ocasiones no son muy evidentes, pero sí perjudiciales.

En la evaluación de materiales metálicos sometidos a la corrosión en medios amargos, en la industria petrolera generalmente se hace uso de métodos cuyos resultados sean lo más cercano posible a los que se observan en campo, tal es el caso del método NACE TM 0177 [1]. En este método se utiliza una solución altamente corrosiva en contacto con los materiales a evaluar, la cual permite tener resultados confiables en poco tiempo, así por ejemplo se ha estudiado la conducta de un acero al carbono SAE 1018 en soluciones con cloruros [2], los resultados obtenidos de Microscopía Electrónica de Barrido, confirmaron la ausencia de productos de corrosión, tales como óxidos. Sin embargo la composición se encuentra alejada de las condiciones reales y los procesos de evaluación no toman en cuenta la variación en dichas condiciones, la cual es muy común en la realidad.

Así, respecto al efecto que tiene la variación de la temperatura en los diferentes sistemas, se percibe que la velocidad de corrosión incrementa con el incremento de la temperatura, para el electrolito soporte [3]. Sin embargo esto no ocurre en todos los sistemas, por ejemplo en el caso del acero AISI 304 SS [4], a altas temperaturas (mayores que 75 °C) se tiene un incremento en la velocidad de corrosión; pero, a medianas (entre 50 y 75 °C) temperaturas tiene similares velocidades de corrosión y a bajas o moderadas temperaturas (entre 25 y 50 °C), se encuentra en un estado pasivo seguido de una región transpasiva.

En el caso de los iones del cloro (Cl⁻) se puede decir que están presentes en muchos medios corrosivos y son los causantes de los daños más graves en la corrosión. En plantas primarias, los cloruros que se encuentran presentes son considerados como de los agentes corrosivos más importantes, junto con el ácido sulfhídrico [5].

En sentido opuesto, los cloruros [6], podrían prevenir la formación de productos de corrosión, ya que impiden el paso e incrementan la conductividad de dichos productos, sin embargo, los experimentos realizados a bajos potenciales aplicados muestran que la acción de estos iones en disoluciones anódicas se transforma de inhibidor a promotor de la corrosión con un incremento de Cl⁻.

Lo anterior, indica que es importante realizar un estudio del comportamiento del acero al carbono SAE 1018 a diferentes temperaturas y variando la concentración de los cloruros, en el

medio corrosivo real, que permita caracterizar los fenómenos que ocurren en el sistema. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la evaluación electroquímica del acero al carbono SAE 1018, sumergido en una muestra de agua amarga colectada en la industria del petróleo, variando la temperatura de 25 a 50 °C con agitación y modificando la concentración de cloruros 20 a 50 ppm, sin y con agitación.

2. Condiciones experimentales

Se utiliza una celda típica de tres electrodos con el acero al carbono SAE 1018 como electrodo de trabajo, una barra de grafito como contraelectrodo y finalmente un electrodo de calomel saturado como referencia.

Los electrodos fueron sumergidos en una muestra de agua amarga proveniente de la industria del petróleo y se varió su temperatura de 25 a 50°C, con agitación, de la misma manera se modificó la concentración de cloruros de 20 a 50 ppm sin y con agitación a 50°C. En los sistemas con agitación se utilizó un electrodo de disco rotario a una velocidad de 500 rpm. La solución fue de-aireada con nitrógeno durante media hora. El electrodo de trabajo con un área superficial de 0.7 cm², se pulió antes de cada experimento, con una lija de 600 SiC.

Se trazaron curvas de Polarización con una velocidad de barrido de 1 mV/s, en el intervalo de potenciales de $E_{corr} \pm 300$ mV, con un tiempo de inmersión de 10 minutos, previo a cada experimento. El equipo utilizado fue un potencióstato-galvanostato Autolab Mod. PGSTAT 30 con el software proporcionado por la misma compañía. Posteriormente, las muestras obtenidas de cada barrido anódico y catódico, así como el acero al carbono que no estuvo expuesto al medio corrosivo, se analizaron en el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) y en el detector de energía dispersiva (EDS).

También se utilizó la técnica de ruido electroquímico en donde se usó una celda simple que consiste de dos electrodos de trabajo “idénticos” de acero al carbono SAE 1018, y un electrodo de referencia de calomel, sumergidos en el agua amarga a 50 °C, sin agitación. Para los sistemas con agitación se utilizaron dos electrodos “idénticos” de disco rotatorio a 500 rpm. Los electrodos y la solución de trabajo tuvieron el mismo tratamiento y condiciones que para la técnica de polarización. La tasa de muestreo fue de un punto por segundo y se hicieron 1024 registros en la serie de tiempo.

3. Resultados y discusión

3.1 Efecto de la variación en la temperatura con agitación

En la figura 1 se presentan las curvas de polarización obtenidas para el sistema con agitación a diferentes temperaturas. En ella, se observa que para las temperaturas de 25 a 40°C, las corrientes anódicas son muy similares entre sí; este comportamiento se observa también para el mismo intervalo de temperaturas cuando el sistema no se está agitando [7], pero en cuanto la temperatura aumenta a 45°C, se tiene un aumento en la corriente anódica, sin embargo ocurre lo contrario cuando la temperatura es de 50°C, ya que la corriente anódica disminuye considerablemente, siendo menor que para el resto de las temperaturas.

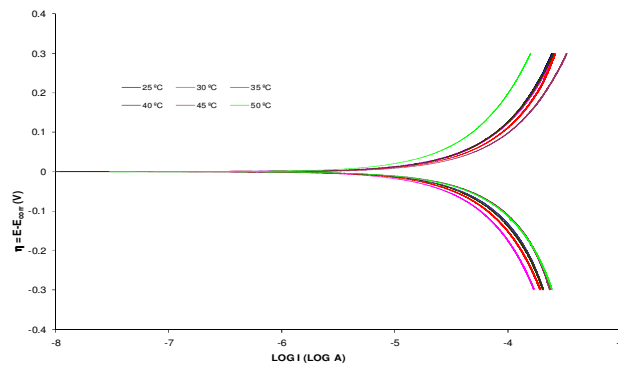


Figura 1. Curvas de polarización obtenidas para un sistema de acero al carbono SAE 1018, sumergido en una muestra de agua amarga agitando a 500 rpm, a diferentes temperaturas.

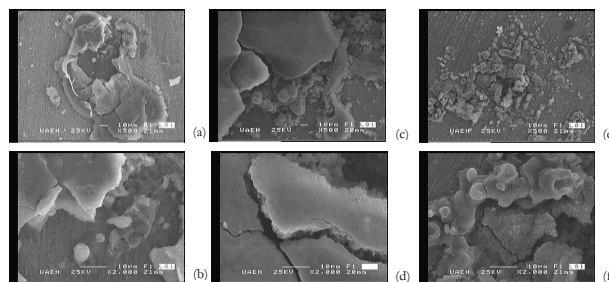


Figura 2: Superficie resultante de la exposición del acero al carbono SAE 1018 a una temperatura de 25°C (a) y (b), 30°C (c) y (d) y 50°C (e) y (f), en el medio amargo realizando un barrido anódico.

Las imágenes obtenidas por MEB (figura 2) muestran la presencia de una capa compacta con pequeñas zonas de rompimiento y formación de nuevos productos de corrosión, que pueden ser responsables de que las corrientes anódicas sean muy similares, para los sistemas de 25 a 40°C, sin embargo en el caso del sistema a 50°C, se observa que se forman varias capas de productos de corrosión porosos probablemente no conductores, lo que

originaría que la corriente de oxidación sea menor que para el resto de las temperaturas.

De la misma manera, la rama catódica tampoco es muy sensible al cambio de temperaturas entre 25 y 40°C lo cual se observa en la figura 1, ya que las corrientes de reducción son muy similares, incluso para las temperaturas de 45 y 50°C. No obstante estas últimas presentan corrientes ligeramente mayores que a 25 y 40 °C, siendo la temperatura de 30°C la que presenta las menores corrientes de reducción. Lo anterior se puede explicar con la formación de productos de corrosión protectores que se observan en las imágenes del MEB (figura 3) a 25, 35 y 40°C, al igual que en 45° y 50°C; sin embargo en estos últimos sistemas la cantidad de productos de corrosión protectores disminuye. Por otro lado, a 30°C (figura 4) se observa una capa porosa de productos de corrosión, que puede ser la responsable de que las corrientes de reducción sean menores para este sistema.

Asimismo, los resultados de EDS a diferentes temperaturas muestran la presencia de oxígeno, lo que indica que los únicos productos de corrosión que se están formando son óxidos o hidróxidos de diferentes estequiometrías; lo que daría precisamente una diferencia en la morfología.

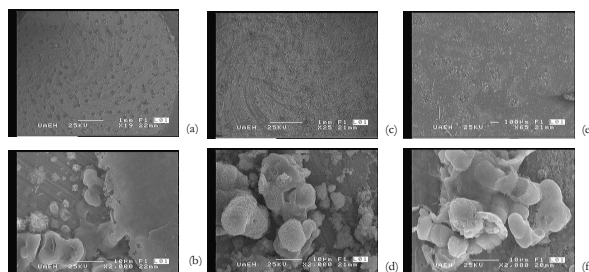


Figura 3: Superficie resultante de la exposición del acero al carbono SAE 1018 a una temperatura de 25°C (a) y (b), 35°C (c) y (d) y 45°C (e) y (f), en el medio amargo realizando un barrido catódico.

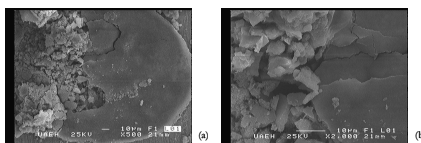


Figura 4: Superficie resultante de la exposición del acero al carbono SAE 1018 a una temperatura de 30°C (a) y (b), en el medio amargo realizando un barrido catódico

Por otro lado, se realizó un análisis cuantitativo a partir de los resultados de polarización lineal y Tafel, para obtener los parámetros de corrosión a las diferentes temperaturas a 500 rpm. Los resultados se muestran en la tabla 1. En ella se presentan el Potencial de corrosión (E_{corr}), la Resistencia a la polarización (R_p), las Pendientes de Tafel

anódica (ba) y catódica (bc).

En la tabla 1 se observa que en los valores del potencial de corrosión no se ve favorecida ninguna reacción con el aumento de la temperatura ya que todos los experimentos presentan valores de E_{corr} muy semejantes, a excepción de la de 45°C que está mostrando un valor de 100 mV más catódico. Lo anterior se corrobora con los valores de las pendientes anódicas y catódicas, que también están muy cercanos entre sí aunque un poco alejados de los valores tafelianos, lo que indica que el sistema está controlado por transferencia de masa. Por otro lado la resistencia de polarización muestra valores altos, respecto a otros sistemas en medios ácidos amargos [8], pero similares al sistema de la solución sin agitar [7], indicando la presencia de productos de corrosión ligeramente protectores o porosos. Además se observa que el sistema a 50°C es el que presenta la mayor resistencia a la polarización, contrario a la de 45°C que es la que tiene la menor R_p , que puede estar muy relacionada con la morfología de los productos de corrosión (ver figuras 2 y 3).

Tabla 1 Parámetros de corrosión obtenidos de las curvas de polarización para el acero al carbono SAE 1018 a 500 rpm, sumergido en una muestra de agua amarga a diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	E_{corr} (V)/ESC	R_p (Ω/cm^2)	b_a (V/dec)	b_c (V/dec)
25	-0.5960	1719	0.4160	-0.4696
30	-0.5826	1730	0.3638	-0.5045
35	-0.6015	1715	0.4343	-0.5876
40	-0.5902	2287	0.4037	-0.4516
45	-0.6850	1609	0.3994	-0.4829
50	-0.6213	2650	0.5117	-0.3484

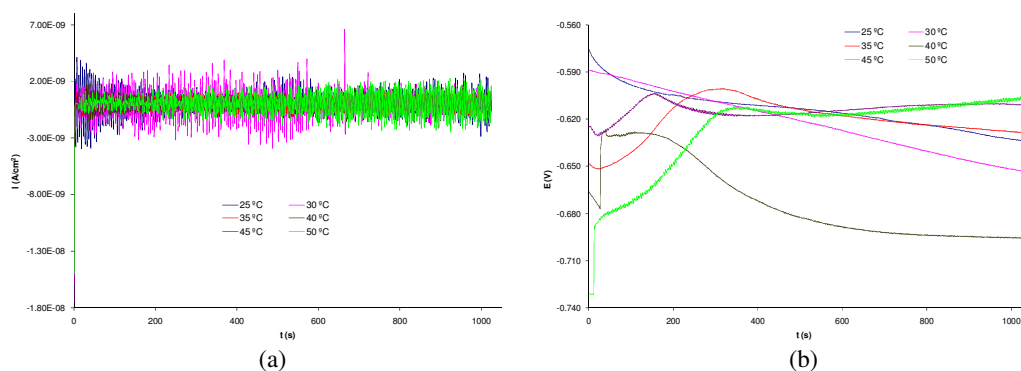


Figura 5. Corriente (a) y potencial (b) obtenidos mediante ruido electroquímico para un sistema de acero al carbono SAE 1018 sumergido en una muestra de agua amarga a 500 rpm modificando la temperatura.

En la figura 5, se muestran las variaciones de corriente (5a) y potencial (5b), con el tiempo, obtenidas de la técnica de ruido electroquímico. En la figura 5a, se observa que las

temperaturas de 25 y 30°C presentan fluctuaciones rápidas de gran amplitud (-5×10^{-9} a $5 \times 10^{-9} \text{Acm}^{-2}$), aunque para el resto de las temperaturas estas oscilaciones son menores (-2×10^{-9} a $2 \times 10^{-9} \text{Acm}^{-2}$), por lo que estas últimas temperaturas tienen menor nivel de ruido y en consecuencia corrosión menos localizada. Sin embargo, las amplitudes son mayores que en los sistemas donde no se agita la solución [7], lo cual es resultado probablemente del incremento en el transporte de masa cuando se agita, igual que para el acero 304 SS [9].

En la figura 5b se muestra una caída de potencial lenta en el acero al carbono para las temperaturas de 25, 30 y 40°C, en sentido catódico asociado con la región de actividad, contrariamente a las temperaturas de 35, 45 y 50°C, las cuales tienen un incremento en sentido anódico, sin embargo las que alcanzan el estado estacionario son las de 40, 45 y 50°C.

Posteriormente se hizo un análisis local de datos, a partir del registro 500 en adelante con los cuales se obtuvieron los resultados cuantitativos de la técnica de ruido electroquímico (Tabla 2), tal como el índice de localización (IL) obtenido a partir del cociente de la desviación estándar de la corriente entre la raíz cuadrática media (rms) de la corriente [10]:

$$IL = \sigma_i / i_{rms} \quad \text{Ec. 1}$$

$$rms = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i^2)} \quad \text{Ec. 2}$$

Como puede observarse en la tabla 2, el índice de localización es muy similar para todas las temperaturas, y su valor es cercano a 1.0, lo que implica que los diferentes sistemas presentan corrosión localizada.

Tabla 2 Parámetros de corrosión obtenidos la técnica de ruido electroquímico para el acero al carbono SAE 1018 sumergido en una muestra de agua amarga a 500 rpm, con diferentes temperaturas.

Temp °C	I.L.
25	0.9996
30	0.99997
35	0.9978
40	0.9991
45	0.9982
50	0.9992

3.2 Efecto de la variación en la concentración de cloruros

En la figura 6 se presentan las curvas de polarización obtenidas para el sistema a diferentes concentraciones de cloruros. En ella, se observa que las corrientes anódicas son menores para las concentraciones de 40 y 50 ppm, pero a menores concentraciones hay aumento en las corrientes anódicas. Las imágenes obtenidas por MEB muestran la ausencia

productos de corrosión en todos los sistemas (figura 7), no obstante también se observa la escasa presencia de cavidades o picaduras que son el resultado de los cloruros sobre la superficie metálica.

Por otro lado, en la rama catódica (figura 6), se observa que las corrientes de reducción son menores cuando se tienen 40 ppm de Cl, contrario a la concentración de 20 ppm, que es la que tiene mayores corrientes de reducción, lo cual podría retardar la reacción de absorción de los cloruros [11]. Sin embargo, todas las corrientes de reducción, indican un probable control por difusión. Ahora bien, al igual que en el barrido anódico, las imágenes de MEB en el barrido catódico (figura 7), no muestran la formación de productos de corrosión, pero nuevamente se observan pequeñas cavidades o picaduras.

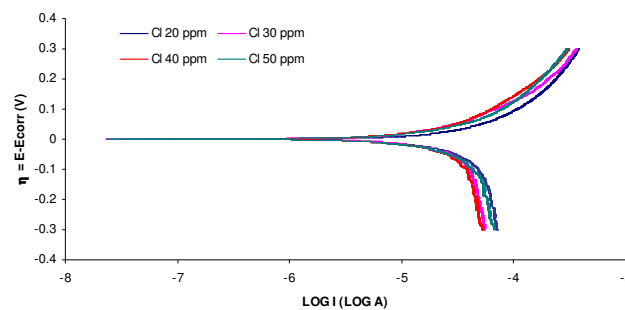


Figura 6. Curvas de polarización obtenidas para un sistema de acero al carbono SAE 1018 sumergido en una muestra de agua amarga, modificando la concentración de cloruros, a una temperatura de 50°C.

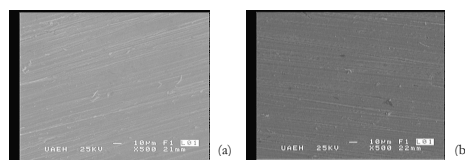


Figura 7: Superficie resultante de la exposición del acero al carbono SAE 1018, con 30 ppm de Cl, a 50°C, en el medio amargo realizando un barrido anódico (a) y catódico (b).

Asimismo los resultados de EDS a diferentes concentraciones de Cl⁻, muestran la ausencia de oxígeno, lo que indicaría la ausencia de productos de corrosión en forma de óxidos o hidróxidos.

Con el fin de realizar un análisis cuantitativo de los parámetros de corrosión obtenidos a las diferentes concentraciones de cloruros, se construyó la tabla 3 con los resultados de polarización lineal y Tafel, en ésta se observa que los valores del potencial de corrosión, son más catódicos que a 30 ppm de cloruros, lo que implica que la reacción de reducción se ve favorecida con el aumento en las concentraciones. Esto se corrobora con las pendientes

catódicas que se obtienen ya que son valores muy altos indicativos de la presencia de procesos difusivos, posiblemente del hidrógeno o de los mismos cloruros hacia o en el interior de la estructura del material. Por otro lado la resistencia de polarización muestra valores altos a concentraciones de 30 y 40 ppm, indicando unas superficies menos activas en estas últimas.

Tabla 3 Parámetros de corrosión obtenidos de las curvas de polarización para el acero al carbono SAE 1018 sumergido en una muestra de agua amarga, modificando la concentración de cloruros, a 50°C.

Cloruros (ppm)	E_{corr} (V)/ESC	R_p (Ω/cm^2)	b_a (V/dec)	b_c (V/dec)
20	-0.7208	2341	0.2844	-1.2186
30	-0.6894	3137	0.2801	-1.1751
40	-0.7062	3446	0.2841	-1.0789
50	-0.7042	2022	0.2924	-1.2473

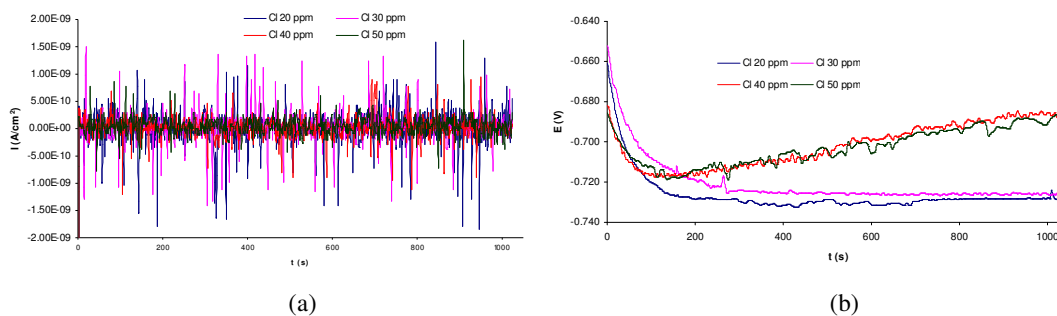


Figura 8. Corriente (a) y potencial (b) obtenidos mediante ruido electroquímico para un sistema de acero al carbono SAE 1018 sumergido en una muestra, modificando las concentraciones de cloruros, a 50°C.

En la figura 8, se muestran las series de tiempo, en corriente (8a) y potencial (8b), obtenidas de la técnica de ruido electroquímico. En la figura 8a, se muestra que a concentraciones de 20 y 30 ppm, se tienen oscilaciones con amplitudes más grandes (-1.8×10^{-9} a $1.5 \times 10^{-9} \text{ Acm}^{-2}$), diferente a los otros dos sistemas (-1.2×10^{-9} a $9 \times 10^{-10} \text{ Acm}^{-2}$), por lo que las primeras podrían tener corrosión más localizada.

En la figura 8b se muestra una caída de potencial lenta en el acero al carbono a concentraciones de 20 y 30 ppm, en sentido catódico asociado con la región de actividad, y después alcanzan el estado estacionario, contrario a las de 40 y 50 ppm, que no alcanzan el estado estacionario y además tienen un incremento en sentido anódico, sin embargo los valores del potencial son similares a los sistemas cuando se varía la temperatura [7].

En la figura 8 se observa que, a concentraciones de 40 y 50 ppm, las oscilaciones en corriente exhiben algunos aumentos relativamente rápidos y en esos mismos períodos se presentan pequeñas caídas del potencial correspondiente, lo cual podría representar que hay

procesos del picado que están repasivando los sitios activos, como resultado de la reacción catódica; pero no son tan predecibles, ni en amplitud, ni en tiempo de ocurrencia, como para el acero al carbono con 0.025M de NaCl [12].

Tabla 4 Parámetros de corrosión obtenidos la técnica de ruido electroquímico para el acero al carbono SAE 1018 sumergido en una muestra de agua amarga a diferentes concentraciones de cloruros.

Cloruros (ppm)	I.L.
20	0.9969
30	0.9857
40	0.9922
50	0.9540

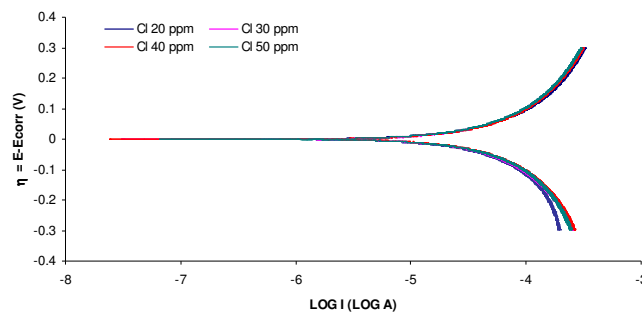


Figura 9. Curvas de polarización obtenidas para un sistema de acero al carbono SAE 1018 con 500 rpm, sumergido en una muestra de agua amarga, variando la concentración de cloruros, a una temperatura de 50°C.

Con los datos a partir del registro 500 en adelante se obtuvieron los resultados cuantitativos de la técnica de ruido electroquímico, los cuales se muestran en la Tabla 4, en ella se puede observar que el índice de localización es cercano a 1.0, lo que implica que los diferentes sistemas presentan corrosión más localizada.

En la figura 9 se presentan las curvas de polarización obtenidas para el sistema con agitación a diferentes concentraciones de cloruros. En ella, se observa que las corrientes anódicas son muy similares entre sí, indicando la presencia de una capa límite de difusión en la que la cantidad de cloruros y el efecto es el mismo independientemente de la concentración.

Por otro lado, la rama catódica tampoco es tan sensible a la variación de cloruros, sin embargo las corrientes de reducción con 20 ppm son ligeramente menores al resto de los sistemas, contrastando con los resultados presentados en ausencia de agitación.

Las imágenes obtenidas por MEB (figura 10) en ambos barridos, muestran la presencia de productos de corrosión porosos y de cristales sobre la superficie del acero al carbono, estos cristales son parecidos a los encontrados en los sistemas de enfriamiento

industriales, a 40°C [13], los cuales pueden ser los responsables de que las corrientes de reducción y oxidación sean muy similares para todos los sistemas en estudio.

Asimismo los resultados de EDS en las muestras en las que se modificó la concentración de cloruros, muestran la presencia de oxígeno en todos los casos, y de calcio en 20 y 40 ppm de cloruros, lo que indica que los productos de corrosión que se están formando son óxidos, hidróxidos, calcitas o aragonitas de diferentes estequiometrias, tal como se observó en la literatura [13].

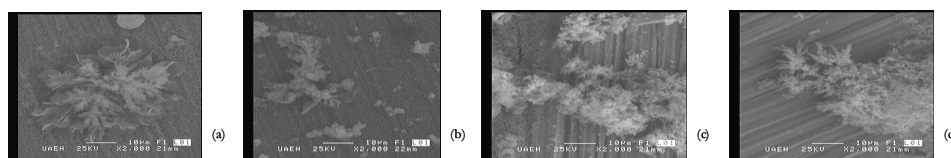


Figura 10: Superficie resultante de la exposición del acero al carbono SAE 1018, en el medio amargo realizando un barrido anódico y catódico, con 30 ppm (a), (b), y 50 ppm (c), (d) de Cl, a 50°C.

Tabla 5 Parámetros de corrosión obtenidos de las curvas de polarización para el acero al carbono SAE 1018 sumergido en una muestra de agua amarga a 500 rpm, modificando la concentración de cloruros, a 50°C.

Cloruros (ppm)	E_{corr} (V)/ESC	R_p (Ω/cm^2)	b_a (V/dec)	b_c (V/dec)
20	-0.6425	1656	0.4180	-0.5566
30	-0.5891	1532	0.4037	-0.4516
40	-0.6122	1434	0.4146	-0.4574
50	-0.6442	1477	0.4125	-0.4830

También, se realizó un análisis cuantitativo a partir de los resultados de polarización lineal y Tafel, para obtener los parámetros de corrosión a las diferentes temperaturas a 500 rpm. En la tabla 5 se observa que en los valores del potencial de corrosión no se ve favorecida ninguna reacción con el aumento en la concentración de cloruros, puesto que todos los sistemas presentan valores de E_{corr} muy semejantes, a excepción de la de 30 ppm, que está mostrando un valor de 60 mV más anódico. Esto se verifica con los valores de las pendientes anódicas y catódicas, que también están muy cercanos entre sí; de manera similar al efecto observado con la variación de la temperatura y con agitación, el sistema está controlado por transferencia de masa. Por otro lado, la resistencia de polarización muestra valores altos, respecto a otros sistemas en presencia de cloruros [2], pero inferiores al sistema de la solución sin agitar, indicando superficies más activas. Además se observa que el sistema con 20 ppm es el que presenta la mayor resistencia a la polarización, distinto al de 40 ppm que tiene una R_p ligeramente menor.

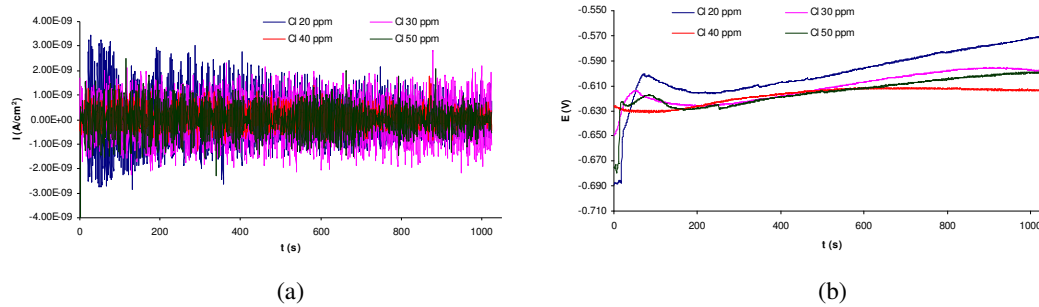


Figura 11. Corriente (a) y potencial (b) obtenidos mediante ruido electroquímico para un sistema de acero al carbono SAE 1018 sumergido en el medio amargo a 500 rpm, modificando la concentración de cloruros a 50°C,

En la figura 11a se muestran los resultados de serie de tiempo de ruido electroquímico (corriente), donde se observa que, las fluctuaciones presentan un cambio lento en la corriente a través del cero lo que indicaría corrosión uniforme, pero, como las fluctuaciones del potencial no son cercanas al cero, entonces se consideraría corrosión localizada, además las fluctuaciones de corriente son similares en todos los sistemas, por lo que un cambio en la concentración de los cloruros no afecta la variación de las corrientes medias. Sin embargo, las amplitudes son mayores que en los sistemas donde no se agita la solución, esto debido a la agitación, lo cual es resultado probablemente del incremento en el transporte de masa, al igual que en los sistemas donde se varía la temperatura.

En la figura 11b se presentan las series de tiempo con respecto al potencial, donde se muestra aumento en el potencial en sentido anódico, alcanzando el estado estacionario únicamente la concentración de 40 ppm. Sin embargo al momento de hacer un análisis local de datos a partir del registro 500 se observa que, para las concentraciones de 30 a 50 ppm, el potencial es más catódico, lo cual podría contribuir a la formación y redisolución de productos de corrosión.

Tabla 6 Parámetros de corrosión obtenidos la técnica de ruido electroquímico para el acero al carbono SAE 1018 sumergido en una muestra de agua amarga a diferentes concentraciones de cloruros, a 50°C.

Cloruros (ppm)	I.L.
20	0.9540
30	0.9999
40	0.9995
50	0.9999

Con los datos del registro de tiempo del 500 en adelante, se obtuvieron los resultados cuantitativos de la técnica de ruido electroquímico mostrados en la Tabla 6; como puede observarse, el índice de localización es muy similar para las diferentes concentraciones de

cloruros en estudio, y su valor es cercano a 1.0, lo que implica que los diferentes sistemas presentan corrosión localizada.

4. Conclusiones

Los resultados anteriores, indican que la variación en la temperatura de operación puede ocasionar modificación de la estructura de los productos de corrosión y por lo tanto del daño que presente el material expuesto, aún cuando la determinación de la velocidad de corrosión no lo indique.

En contraparte, los sistemas donde se varió la concentración de cloruros, sin agitación, no muestran la presencia de productos de corrosión, aunque son visibles las picaduras o cavidades. Por otro lado, cuando se agita el sistema a 500 rpm, se observa la presencia de productos de corrosión con calcio a 20 y a 40 ppm de cloruros, lo cual podría indicar que la presencia de cloruros en ciertas concentraciones lleva a la formación de depósitos de productos tales como la calcita o aragonita muy comunes en la industria del petróleo. Sin embargo los resultados con las técnicas electroquímicas muestran que no hay cambios significativos en el daño que sufre el material expuesto, entre una concentración y otra de cloruros.

5. Referencias

1. Método Estándar NACE TM 0177, National Association of Corrosion Engineers, 1996.
2. M. A. Veloz Tesis Doctoral, UAM-Iztapalapa, México, 2003
3. A. E. Stoyanova, E. I. Sokolova, S. N. Raicheva. *Corrosion Science*. **39**, 1997. 1595 pp.
4. S. Giriya, U. Kamachi, H. S. Khatac, B. Raj. *Corrosion Science*. **49**, 2007. 4051pp.
5. M. A. Veloz, I. González. *Electrochimica Acta*. **48**. 2002. 135 pp
6. L. J. Yan, L. Niu, H. C. Lin, W. T. Wu, S. Z. Liu. *Corrosion Science*. **41**. 1999. 2303 pp.
7. E. M. Esparza, M. A. Veloz, J. Uruchurtu, V. E. Reyes Cruz; "Corrosión de acero SAE 1018 en aguas amargas colectadas de la industria del petróleo: efecto de la temperatura" Memorias del XXIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Electroquímica 2008.
8. B. Esparza. Tesis de licenciatura UAEH, Pachuca, Hgo., México, 2007.
9. J. Kearns, J. Scully, P. Roberge, D. Reichert, J. Dawson, Eds. 1996. *Electrochemical Measurement for Corrosion Applications*. ASTM. USA.
10. D. A. Eden. *Corrosion Source*. 2000.
11. A. M. Allam, B. G. Ateya, H. W. Pickering. *Corrosion*. **53**. 1997. 284 pp.
12. R. Cottis, S. Turgoose 1999. *Electrochemical Impedance and Noise*. NACE International. USA.
13. J. Marín Tesis Doctoral, UAM-Iztapalapa, México, 2004.