

# ANÁLISIS DE LA FLUCTUACIÓN DEL POTENCIAL DE REPOSO EN UN ACERO AISI 1020 INMERSO EN EMULSIONES KEROSENO EN AGUA

F. ECHEVERRÍA\*, D. PEÑA\*\*, C. VÁSQUEZ\*\*, C. RETAMOSO\*\*

\*Grupo de Corrosión y Protección, Universidad de Antioquia  
e-mail: [wwwcorro@aluna.udea.edu.co](mailto:wwwcorro@aluna.udea.edu.co)

\*\*Grupo de Investigaciones en Corrosión-GIC, Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Colombia.  
e-mail: [dypena@uis.edu.co](mailto:dypena@uis.edu.co)

---

## RESUMEN

Las variaciones del potencial de corrosión de un acero al carbono AISI 1020 inmerso en una emulsión de keroseno en agua fueron examinadas. Las proporciones de keroseno utilizadas en el agua estuvieron entre 2 y 70% en peso, como sistema de referencia se utilizó un electrodo de calomel saturado conectado al medio de trabajo por un capilar que contenía una solución acuosa saturada de KCl. La punta del capilar finalizaba en un tapón de Agar-0.1 M KCl, las soluciones fueron aireadas por un período de 15 minutos a una velocidad de flujo de 25 cm<sup>3</sup>/s, antes y durante el ensayo. El experimento en blanco consistió en una mezcla de agua desionizada y destilada con 1000 ppm de un tensoactivo aniónico comercial (di-2-ethylhexyl sodium sulfosuccinate), como medio corrosivo. Las variaciones en el potencial de reposo observadas tanto en el blanco como en las emulsiones revelaron el avance de un proceso de corrosión uniforme sobre el acero. Estas observaciones están de acuerdo con el examen metalográfico realizado en las superficies corroídas con un microscopio óptico. Para las emulsiones con contenidos iguales o mayores a 60% de keroseno, se observaron fluctuaciones repentinas del potencial hacia valores más positivos. Con el paso del tiempo, estos potenciales se estabilizaron, alcanzando valores negativos ligeramente por debajo de cero.

---

## INTRODUCCIÓN

La transmisión de carga eléctrica a través de emulsiones depende principalmente de la fase continua, así, si esta es no polar se tendrá gran resistencia al paso de la corriente y viceversa.

Así como el transporte de carga, el cual es fundamental para la ocurrencia del proceso electroquímico denominado corrosión, el carácter polar de las fases influirá en el mayor o

menor ataque que ocurra sobre el metal, aumentando si la fase continua es un electrolito altamente conductor, por ejemplo agua, y disminuyendo para el caso de una sustancia muy resistiva como un hidrocarburo o algún otro medio orgánico de baja conductividad eléctrica<sup>1</sup>.

Los medios emulsionados<sup>2,3</sup> presentan problemas no solo en el aspecto de no ser una solución de tipo acuoso (sus características electroquímicas difieren de aquellas propias del

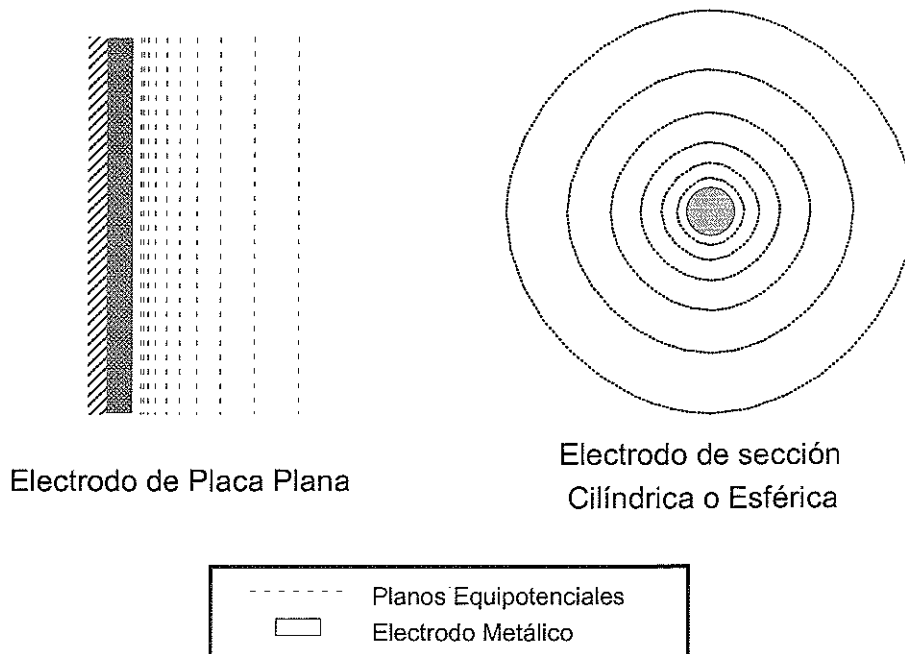
agua), aún cuando una de las fases sea agua, sino que también se encuentra en ellas una dificultad de tipo puramente físico, la cual redundará en otros aspectos, como es el hecho de ser un sistema discontinuo en el que se tendrán puntos en los cuales se tiene una fase y puntos donde se tiene otra diferente o incluso, dependiendo de la estabilidad de la emulsión y de la actividad superficial de las fases respecto a un material dado, puede presentarse un reparto o distribución de fases que difiere de aquella relación (IPR de «internal phase ratio») que se encuentra en el cuerpo de la solución. Todos estos factores limitan los sistemas factibles a utilizar al igual que la precisión y repetibilidad de las experiencias.

En el presente trabajo se examina la variación del potencial natural de corrosión de un acero al carbono (AISI 1020) inmerso en sistemas dispersos keroseno en agua.

### ZONAS EQUIPOTENCIALES ALREDEDOR DE UN ELECTRODO<sup>1,7</sup>

La distribución de los puntos equipotenciales circundantes a una superficie metálica inmersa en un medio dado depende principalmente de la geometría del electrodo, a nivel micro y macroscópico correspondiente. Un aspecto importante en este respecto es la eliminación de los efectos de borde lo cual se logra cuando la superficie de los bordes es despreciable comparada con el área de ensayo.

Los planos equipotenciales se localizan paralelos a la superficie del electrodo dando así como resultado las configuraciones mostradas en la Figura 1 para un electrodo de placa plana, uno de tipo cilíndrico y uno con geometría esférica. Perpendicularmente a estos planos de potencial encontraremos las líneas que describen el flujo de corriente que entra o sale del electrodo.



**FIGURA 1.** Distribución idealizada del potencial presente alrededor de electrodos metálicos con diferentes geometrías

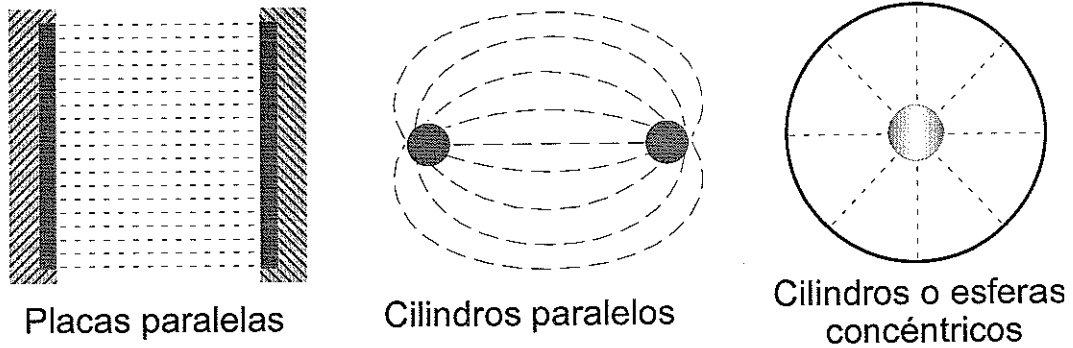
La magnitud del potencial registrado en cada una de estas superficies equidistantes del electrodo obedecerá a las funciones matemáticas

relacionadas con la doble capa eléctrica, y en las cuales se involucran características fisicoquímicas tanto del electrodo como de la solución.

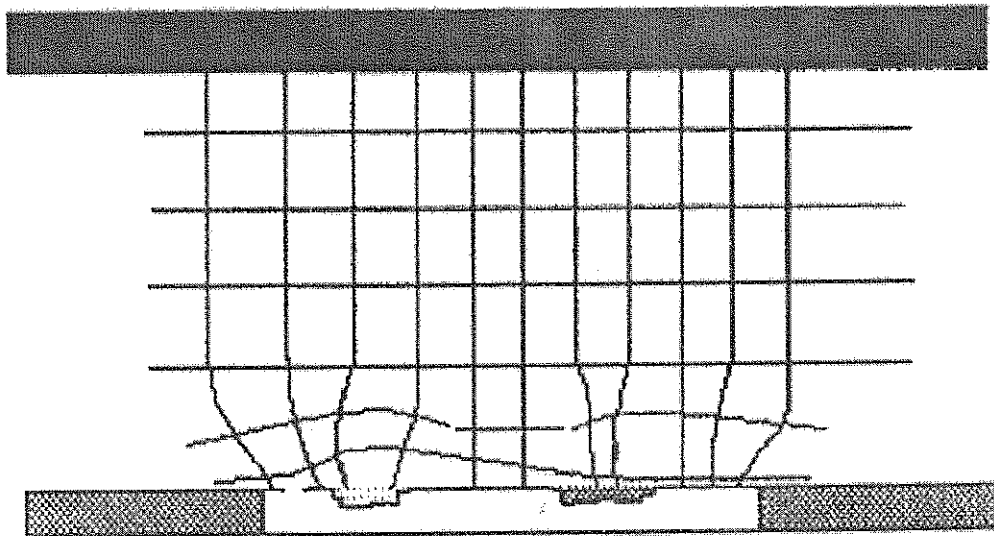
**DISTRIBUCIÓN DE LA CORRIENTE PARA DIFERENTES GEOMETRÍAS DE CELDA<sup>1,7</sup>**

La medición de la corriente que circula a través de la celda se ve afectada principalmente por la geometría de dicha celda y por la conductividad del electrolito involucrado en el estudio. Sobre el primer punto tanto la posición relativa del electrodo

de trabajo (ET) con respecto al contraelectrodo (CE) como la forma geométrica de estos electrodos influirá en la calidad de la medida, ver figura 2, ya que las líneas de corriente cruzan perpendicularmente las líneas de potencial una distorsión en las líneas equipotenciales se traducirá en la distribución de las líneas de corriente, como se observa en la figura 3.



**FIGURA 2.** Distribución de líneas de corriente de acuerdo a la geometría del electrodo.



**FIGURA 3.** Distorsión de las líneas de corriente debido a heterogeneidades en el electrodo de trabajo.

**PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

Se prepararon emulsiones con IPR de 2, 5, 10, 20, 25, 35, 40, 50, 60, 65 y 70% de acuerdo con el

procedimiento descrito en algunos estudios anteriores <sup>2,11</sup>.

**Ensayos de potencial de corrosión** <sup>4,5,6,8,9,10,12,13</sup>.

La realización de estos ensayos tuvo dos objetivos principales. Primero, pensando en adelantar ensayos posteriores tendientes a medir la velocidad de corrosión era de interés conocer el tiempo al cual el potencial en circuito abierto permanecía estable. Este período en sistemas acuosos puede tomar alrededor de una a dos horas, sin embargo, teniendo en cuenta que las emulsiones son sistemas metaestables se preveía que estos tiempos de estabilización serían más extensos respecto a un medio acuoso y así mismo, también era de esperarse diferencias entre una emulsión y otra (diferente IPR), en el tiempo necesario para lograr dicho equilibrio.

En segundo lugar, se deseaba establecer si en esta clase de sistemas el tipo de corrosión que se desarrollaba era generalizado o si se presentaban eventos de corrosión localizada. Para este último punto era de gran importancia el correcto establecimiento de las condiciones bajo las cuales se llevarían a cabo los ensayos en especial en lo referente a la perturbación de las medidas por fuentes externas al montaje y en cuanto a la frecuencia del muestreo en busca de evitar

interferencia de la información ya fuera por la utilización de una frecuencia demasiado alta o baja.

En el caso de la utilización de una frecuencia alta se podrían recibir señales que no corresponden a los procesos sobre el electrodo sino debido a ruidos implícitos en el sistema de medida. Si la frecuencia elegida fuera demasiado baja se obtendría un registro suave del proceso, enmascarando eventos intermedios propios del proceso corrosivo bajo estudio. Para estos ensayos se utilizó como electrodo de trabajo una placa plana de 1 cm<sup>2</sup> y como sistema de referencia se utilizó un SCE con un puente salino de KCl saturado y un tapón de Agar-agar. El montaje empleado se muestra en la figura 4.

Los medios ensayados fueron agua desionizada-destilada, solución acuosa de tensoactivo (1000 ppm), y emulsiones keroseno en agua con IPR de 2, 5, 10, 20, 25, 35, 40, 50, 60, 65 y 70% en todos los casos imponiendo condiciones de aireación y agitación por medio de la inyección de 25 cm<sup>3</sup>/s de aire. El tiempo de rastreo fue como mínimo de 6 horas con un intervalo entre punto y punto de 45 segundos.

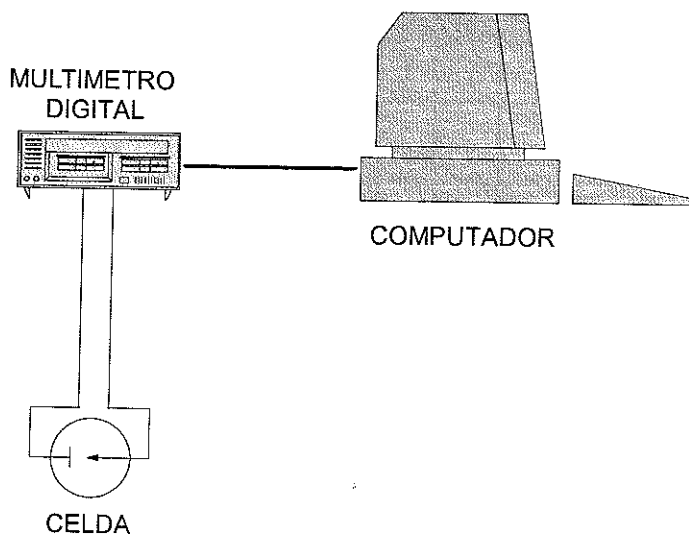


FIGURA 4. Montaje utilizado para la medición del potencial en circuito abierto.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados se presentan en las Figuras 5 a 17. Las curvas de potencial de reposo, se pueden

dividir en tres grupos principalmente para su análisis.

La solución acuosa de tensoactivo presenta un comportamiento de polarización en sentido anódico, llevando el metal hacia potenciales menos nobles con un tiempo de estabilización de aproximadamente 2 horas y sin ninguna evidencia de eventos de corrosión localizada, al menos en el lapso estudiado.

Un segundo grupo conformado por las emulsiones con IPR entre 2 y 50%, en los cuales se observa una tendencia generalizada a una polarización catódica hacia valores de potencial de corrosión más nobles. Dicha variación es función del IPR de la emulsión, y de esta forma mientras mayor es el contenido de fase oleica en la emulsión mayor es la pendiente de la curva potencial vs. tiempo. Al igual que en el caso de la solución acuosa, no se registraron fenómenos de corrosión localizada.

El tercer grupo compuesto por las emulsiones restantes (IPR 60, 65 y 70%), presenta una diferencia con respecto al resto de sistemas bifásicos en el tiempo de estabilización del potencial y el cual se logra siguiendo una trayectoria con pendiente variable en las curvas potencial contra tiempo, iniciando por cambios bruscos hasta llegar a una región donde los cambios se hacen despreciables.

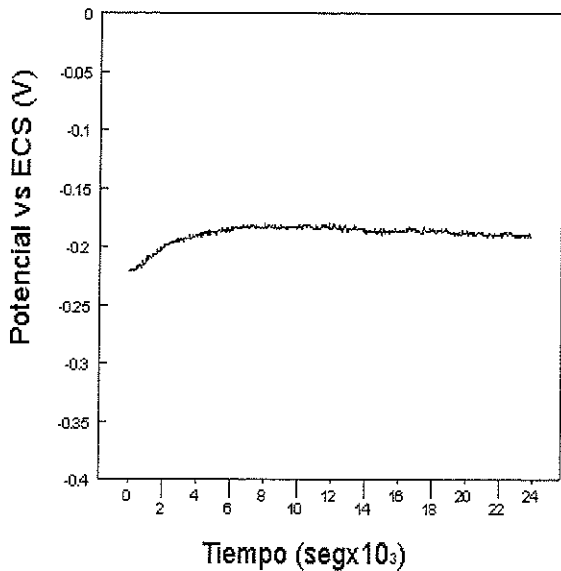


FIGURA 5. Potencial en circuito abierto para un acero AISI 1020 en agua desionizada-destilada.

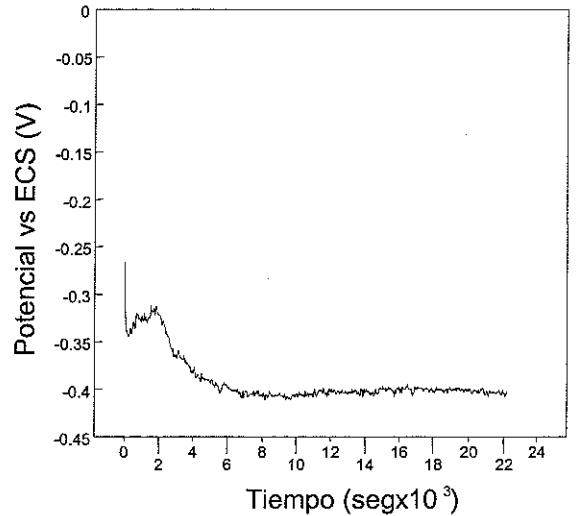


FIGURA 6. Potencial de circuito abierto para un acero AISI 1020 en solución acuosa de tensoactivo.

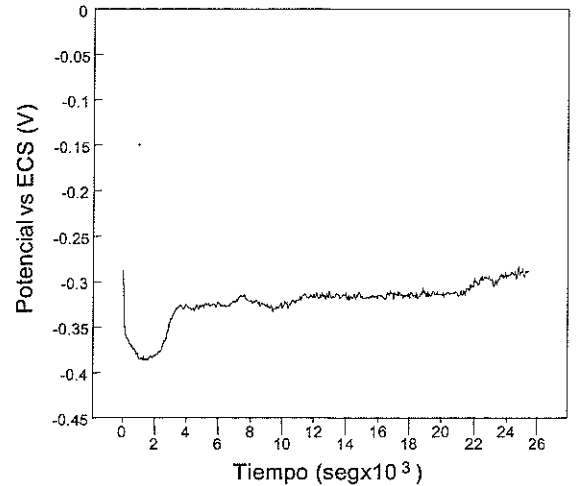


FIGURA 7. Potencial de circuito abierto para un acero AISI 1020 en emulsión kerosene-agua IPR 2%

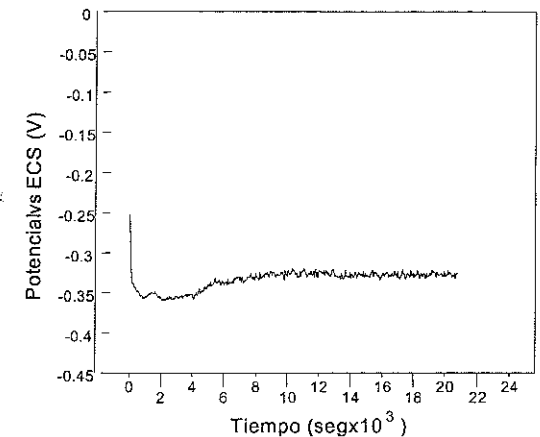
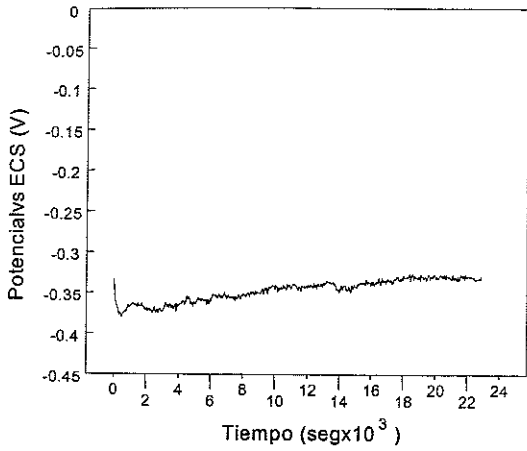
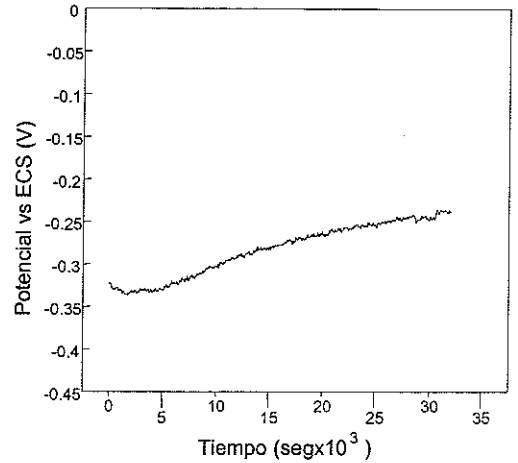


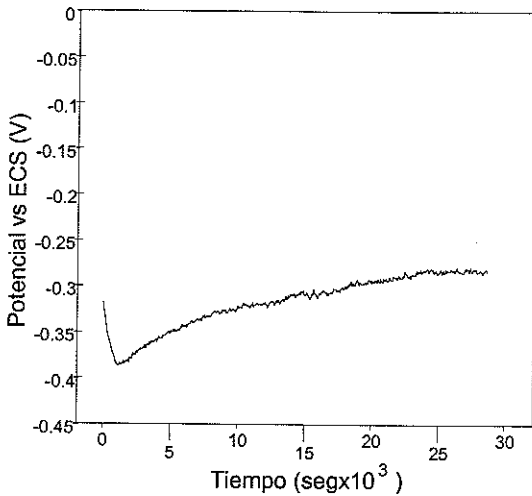
FIGURA 8. Potencial de circuito abierto para un acero AISI 1020 en emulsión kerosene-agua IPR 5%.



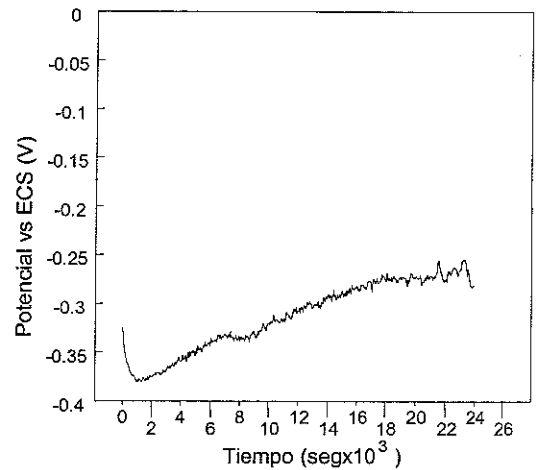
**FIGURA 9.** Potencial de circuito abierto para un acero AISI 1020 en emulsión kerosene-agua IPR 10%



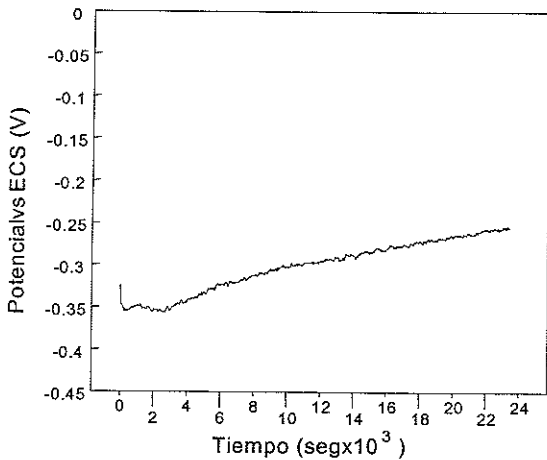
**FIGURA 12.** Potencial de circuito abierto para un acero AISI 1020 en emulsión kerosene-agua IPR 35%



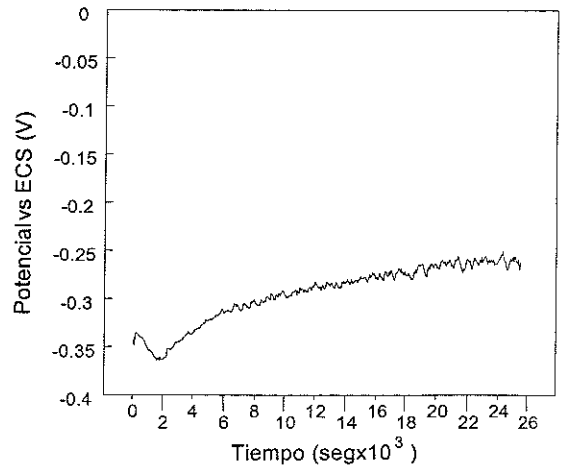
**FIGURA 10.** Potencial de circuito abierto para un acero AISI 1020 en emulsión kerosene-agua IPR 20%



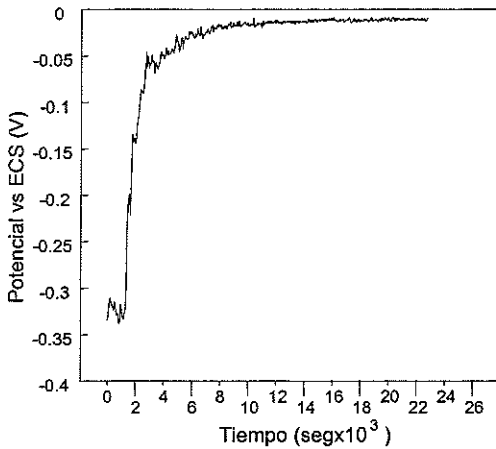
**FIGURA 13.** Potencial de circuito abierto para un acero AISI 1020 en emulsión kerosene-agua IPR 40%



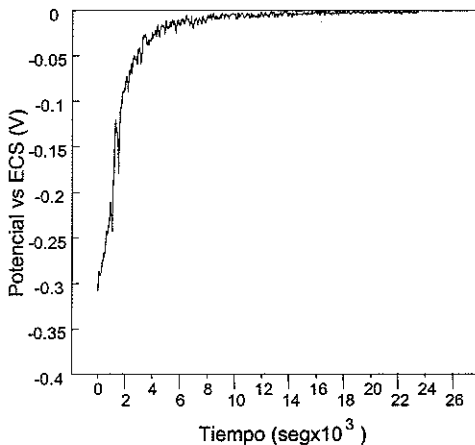
**FIGURA 11.** Potencial de circuito abierto para un acero AISI 1020 en emulsión kerosene-agua IPR 25%



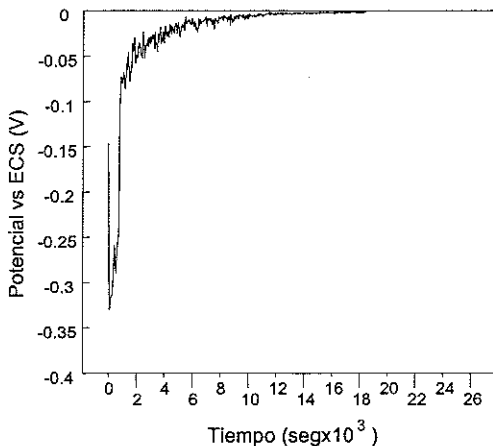
**FIGURA 14.** Potencial de circuito abierto para un acero AISI 1020 en emulsión kerosene-agua IPR 50%



**FIGURA 15.** Potencial de circuito abierto para un acero AISI 1020 en emulsión kerosene-agua IPR 60%.



**FIGURA 16.** Potencial de circuito abierto para un acero AISI 1020 en emulsión kerosene-agua IPR 65%



**FIGURA 17.** Potencial de circuito abierto para un acero AISI 1020 en emulsión kerosene-agua IPR 70%

Este comportamiento general de los sistemas emulsionados, sugiere un proceso de redistribución de la superficie metálica entre el keroseno y el agua, en el cual la fase pasiva o pasivante, el aceite, va tomando predominio sobre la fase agresiva o corrosiva, el agua.

Del análisis anterior, se vio la necesidad de adelantar dos ensayos adicionales con el fin de establecer el rango de tiempo en el que se encuentran los períodos de estabilización del potencial para la gama de emulsiones con IPR entre 2 y 50%, dado que en las curvas obtenidas para tales sistemas, no es posible establecer con certeza tiempos de estabilización y al contrario se puede prever una tendencia de cambio constante. Sin embargo, la gran similitud de todas estas curvas permite extrapolar resultados y por tanto no se consideró necesario adelantar registros para todas las emulsiones sino únicamente para los valores extremos de la serie. Para los sistemas con IPR superior a 50% se obtuvieron valores de potencial muy estables transcurrido un lapso de aproximadamente 3 horas, por tanto no se consideró necesario incluirlos.

Estos ensayos solo diferirían de los iniciales en el tiempo total de rastreo, cuya extensión, la determinaría el avance del ensayo mismo. Los resultados de estas pruebas se pueden observar en las figuras 18 y 19. En la curva presentada en la figura 18 se puede ver que para estos sistemas de bajo IPR, los valores más estables se obtienen solo luego de pasadas unas 20 horas y que partiendo de este punto la variación del potencial es de tipo oscilatorio, mientras que para los sistemas de alto IPR (figura 19), pasado este mismo período el valor logrado registra variaciones muy leves.

## CONCLUSIONES

El potencial en circuito abierto de un acero al carbono en emulsiones keroseno-agua, se desplazará hacia valores más nobles con el tiempo hasta lograr un valor límite. Este comportamiento es debido a una progresiva "colonización" de la superficie metálica por parte de la fase keroseno, desplazando a la fase electroquímicamente más agresiva, esto es la acuosa. Es probable que este desplazamiento esté ayudado por la acción del tensoactivo.

Como resultado del progresivo avance por parte de la fase oleica sobre la muestra, se obtuvieron formas características de ataque corrosivo, las cuales con el tiempo se convierten en ataque localizado y corrosión general, de acuerdo al porcentaje de keroseno presente en la emulsión.

El tiempo que toma la superficie metálica inmersa en una emulsión keroseno en agua en lograr un valor constante de potencial en reposo, está íntimamente relacionado con el IPR de dicho medio y presenta un valor crítico para  $IPR > 50\%$  donde la estabilización se logra en periodos muy cortos, respecto a aquellos obtenidos para emulsiones con  $IPR < 50\%$ .

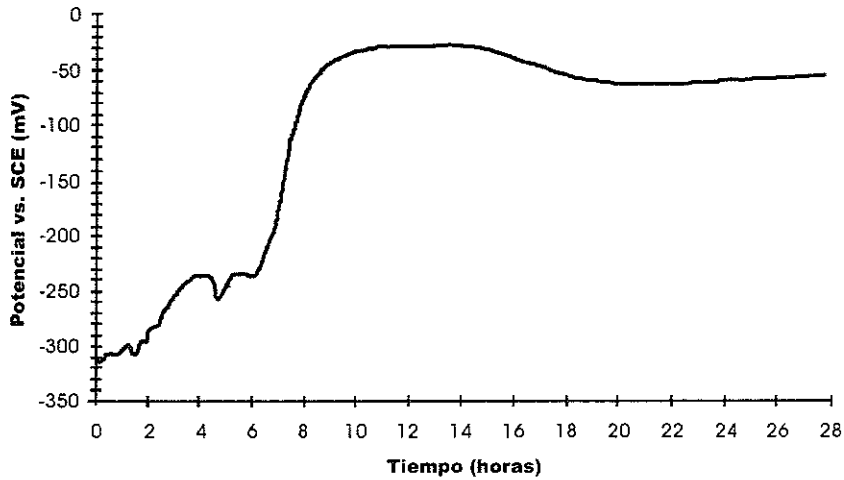


FIGURA 18. Potencial en circuito abierto de un acero AISI 1020 en una emulsión keroseno en agua con un IPR 5%, aireada.

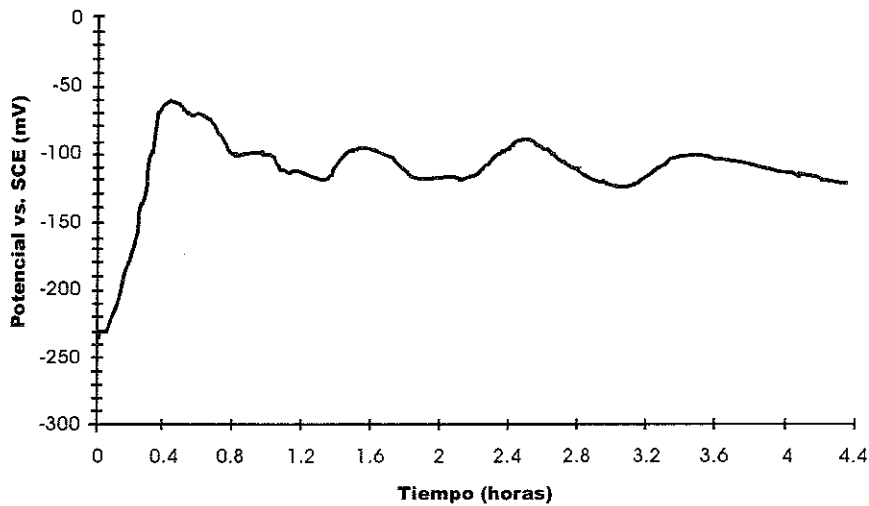


FIGURA 19. Potencial en circuito abierto de un acero AISI 1020 en una emulsión keroseno en agua con un IPR 50%, aireada.



**ABSTRACT**

The variations of natural corrosion potential of a carbon steel (AISI 1020) immersed in dispersed systems, kerosene in water, were examined. Proportions of kerosene in water were between 2 to 70 weight percent. A SCE connected to the working media by a capillary containing an aqueous KCl saturated solution was used as reference system. The capillary ended in an Agar plug, 0.1 M KCl. Solutions were aerated by 15 min. at 25 cm<sup>3</sup>/s rate of flow both before immersing the electrodes and during the run. A blank experiment consisted in using a deionized distilled water mixed with 1000 ppm of commercial anionic tensoactive, di-2-ethylhexyl sodium sulfosuccinate, as corrosion medium. The fluctuations in rest potential observed for both blank and emulsions revealed the advance of a uniform corrosion process on the steel. These observations matched with the examination of corroded steel surfaces by an optical microscope. For emulsions with oil content greater than or equal to 60%, sudden fluctuations towards more positive potentials were obtained. With time, these potentials tended towards stabilization, reaching negative values just below zero.

**AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a COLCIENCIAS por la financiación de la presente investigación.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. D.T. Sawyer and J.L. Roberts, *Experimental electrochemistry for chemists*, John Wiley & Sons, New York, 1987.
2. C. Retamoso y Colaboradores, *Procesos Electroquímicos en emulsiones*, Proyecto UIS-ICP, 1993.
3. P. Becher, *Dielectric properties of emulsions and related systems*, Enciclopedia de las emulsiones, 1987.
4. R. Jasinski and R.D. Efind, *Electrochemical corrosion measurements in crude oil*, *Corrosion*, 43(8): 476-, 1987.
5. D.L. Piron, *The electrochemistry of corrosion*, NACE, Houston, 1991.
6. J.A. Richardson, *Innovations in techniques for corrosion monitoring*, Imperial Chemical Industries – PLC, 200p, 1985.
7. R.N. Adams, *Electrochemistry at solid electrodes*, Marcel Dekker Inc., New York, 1969.
8. K. Izutsu, T. Nakamura, T. Kitano, Ch. Kirasawa, *Experimental studies of the liquid junction potential between electrolyte solutions in different solvents. I. Water-Organic solvent junctions*, *Bulletin of the chemical Society of Japan*, 51(3): 783-, 1978.
9. J.W. Diggle and A.J. Parker, *Liquid junction potentials in electrochemical cells involving a dissimilar solvent junction*, *Australian Journal of Chemistry*, 27: 1617-, 1974.
10. B.H. Vassos, *Electroquímica analítica*, Editorial Limusa, México, 1987.
11. D. Peña, *Comportamiento electroquímico de un acero AISI 1020 en emulsiones blancas inversas*, Tesis, UIS, 1994.
12. S.W. Watson and B.W. Madsen, *Aplicability of reference electrode types in transient electrochemical experiments*, *Corrosion*, 48(9), 1992.
13. F. Echeverría, *Determinación de velocidades de corrosión en sistemas emulsionados aceite en agua*, Tesis, UIS, 1995.