

# Medida de la eficiencia de los inhibidores de la corrosión en condiciones de flujo turbulento con el electrodo cilíndrico rotatorio Autolab (RCE) según la norma ASTM G185

El electrodo de cilindro rotatorio (RCE) es una técnica utilizada en la investigación de la corrosión para simular en un ambiente de laboratorio el flujo turbulento, que generalmente ocurre cuando los líquidos son transportados a través de tuberías.

La corrosión de las paredes internas de las tuberías ocurre debido a la interacción electroquímica entre el material de la tubería y los fluidos que fluyen a través de las tuberías. La corrosión de las tuberías aumenta significativamente por la naturaleza turbulenta del flujo que se produce dentro de las tuberías.

El electrodo de cilindro giratorio (RCE) se utiliza para generar un flujo turbulento en la superficie de una muestra, en un entorno de laboratorio, simulando las condiciones de flujo de la tubería. En otras palabras, el flujo turbulento de un líquido con caudal conocido a través de una tubería de diámetro interno dado y su efecto sobre la superficie del material se puede

reproducir en un ambiente de laboratorio usando un RCE con un tamaño de cilindro dado (hecho del mismo material como la tubería) que gira a una velocidad de rotación bien definida.

Por lo tanto, una de las principales aplicaciones de RCE es probar la eficiencia de los inhibidores de corrosión y la susceptibilidad a la corrosión de los materiales de las tuberías en experimentos electroquímicos simples y rápidos, simulando las condiciones de flujo de la tubería.

Los experimentos que involucran un RCE están regulados por el estándar ASTM G185 [1].

En esta Application Note, el RCE con una muestra de cilindro de acero al carbono 1018 se utilizó con la técnica de medida de polarización lineal (LP). Se realizaron dos experimentos de LP, uno sin inhibidor de corrosión y el otro con un inhibidor de corrosión agregado al electrolito.

## CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL

Se empleó un Metrohm Autolab PGSTAT302N, equipado con el controlador de motor Metrohm Autolab, rotador y un electrodo de cilindro giratorio (RCE).

Metrohm Autolab RCE utiliza un cilindro de muestra con un diámetro exterior (DE) de 12 mm que se fija en un soporte de PEEK con juntas tóricas de Viton. En la imagen se muestra un RCE de Metrohm Autolab.

### Figura 1.

En general, para un RCE, el flujo turbulento se logra con el número de Reynolds  $R_{mi} > 200$ .

Teniendo en cuenta el diámetro exterior de 12 mm del cilindro, el flujo turbulento ya se alcanza a 100 RPM [2].

El material del inserto cilíndrico RCE fue acero al carbono (densidad =  $7,87 \text{ gramos cm}^{-3}$ ; peso equivalente  $EW = 27,93$ ).

La celda electroquímica se completó con un electrodo de referencia Ag/AgCl 3 mol/L KCl y dos varillas de acero inoxidable colocadas simétricamente como contraelectrodos.



**Figure 1.** Electrodo de cilindro giratorio que muestra el inserto metálico, las juntas tóricas de Viton (negras) y el soporte de PEEK.

## CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL

El electrolito estaba compuesto por una solución acuosa de 0,5 mol/L de HCl y 0,5 mol/L de NaCl.

Se preparó otra solución electrolítica de HCl 0,5 mol/L y NaCl 0,5 mol/L, adicionando además 4 mL de la solución inhibidora, compuesta por etanol y 1000 ppm (0,78 mol/L) de triptamina.

El electrodo RCE se giró a 500 RMP, correspondiente a una velocidad de fluido  $RCE = 82,3 \text{ cm s}^{-1}$  ( $2,7 \text{ pie s}^{-1}$ ) dentro de una tubería cédula 40, con un diámetro interno de 30.32 cm (12").

Antes de los experimentos, con fines de estabilización, las muestras se mantuvieron durante la noche en el electrolito sin el inhibidor.

Después de registrar el potencial de circuito abierto (OCP) durante cinco minutos, se realizaron mediciones de LP desde  $-20 \text{ mV}$  y  $+20 \text{ mV}$  contra OCP, con  $1 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$  rango de escaneo. En el caso de la corrosión, el OCP también se denomina potencial de corrosión,  $m_{i_{corr}}$ .

Todos los datos fueron registrados y analizados con el software NOVA.

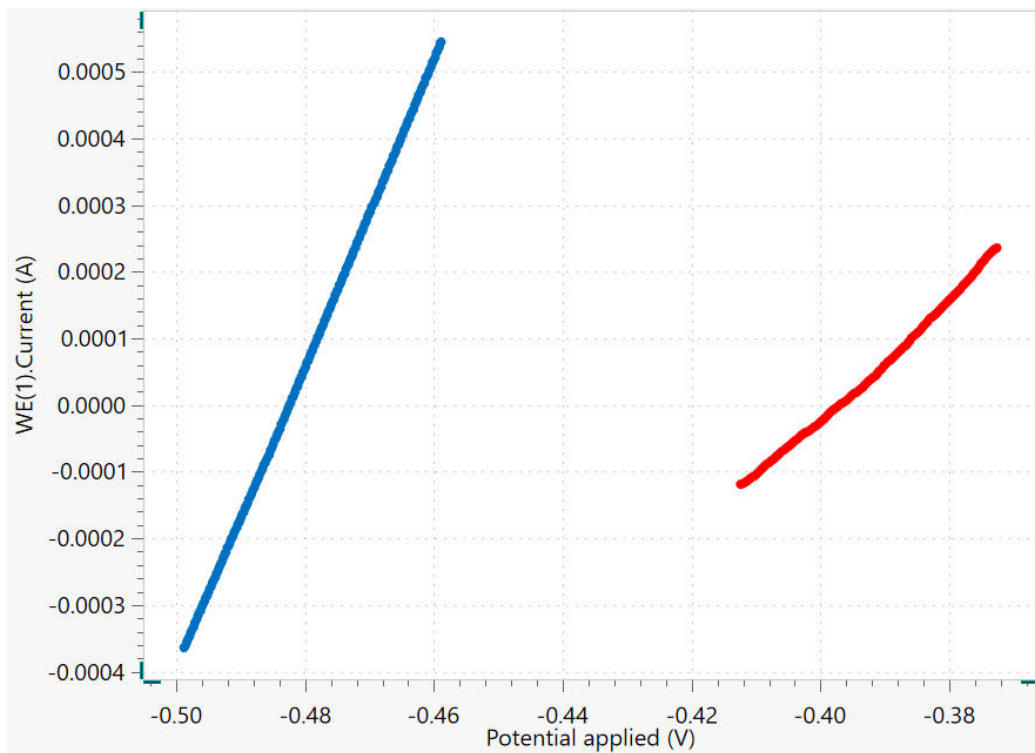
Todos los potenciales se registran frente al potencial del electrodo de referencia, es decir, frente a Ag/AgCl 3 mol/L KCl.

Todos los experimentos fueron realizados a temperatura ambiente.

El potencial de corrosión  $m_{i_{corr}}$  (V) fue medido, como siendo  $m_{i_{corr}} = -0.479$  V en el caso del electrolito sin inhibidor, y  $m_{i_{corr}} = -0.392$  V en el caso del electrolito con el inhibidor.

En **Figura 2**, se muestran los voltamogramas

resultantes de los experimentos de polarización lineal (LP). En azul se presentan los datos medidos sin inhibidor y en rojo los datos medidos con el inhibidor agregado al electrolito.



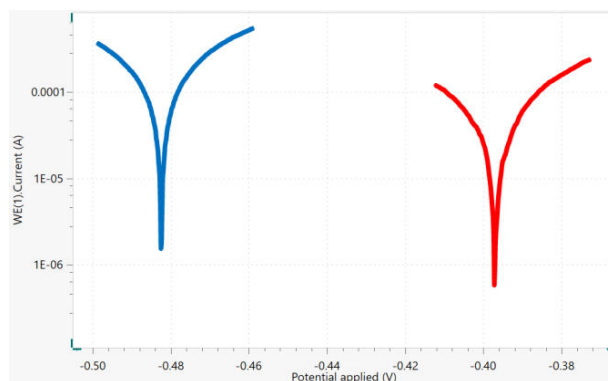
**Figure 2.** Los voltamogramas de las polarizaciones lineales. Los datos se miden sin el inhibidor (azul) y con el inhibidor en el electrolito (rojo).

**Figura 2** muestra que los datos con el inhibidor aparecen en el lado derecho de la gráfica, con respecto a los datos sin inhibidor. Esto significa que en el caso del electrolito con el inhibidor, los mismos valores de corriente ocurren a un potencial más alto (más noble) que el electrolito sin el inhibidor. En medidas LP, la inversa de la pendiente de la  $i$  vs. Parcela E cerca  $m_{i_{corr}}$  se puede utilizar para estimar los valores de resistencia de polarización ( $R_{pags}$ ,  $\Omega$ ).

Cuando se agrega el inhibidor al sistema, se observa una disminución en la pendiente, lo que indica que  $R_{pags}$  ha aumentado.

Una regresión lineal alrededor  $m_{i_{corr}}$  (no se muestra aquí) ayudó a calcular  $R_{pags}$ . En el caso de las medidas de LP sin inhibidor, un valor de  $R_{pags} = 42,62$  es encontrado. En presencia del inhibidor, el valor de  $R_{pags} = 135,96$  es encontrado.

En **figura 3**, se muestran los diagramas de Tafel.



**Figure 3.** Los gráficos de Tafel de los datos medidos sin inhibidor (azul) y con inhibidor (rojo).

He aquí el  $mi_{corr}$  se puede determinar fácilmente, siendo el valor potencial donde la corriente cae a cero, la posición del pico negativo en el gráfico  $\log(i)$  vs  $E$ . El análisis de datos se realiza aún más y los parámetros de corrosión adicionales se pueden calcular utilizando el *Análisis de tasa de corrosión* Comando en el software NOVA. La resistencia de polarización calculada para la muestra en el electrolito sin inhibidor fue  $R_{pags} =$

43,32 y para la muestra en el electrolito con el inhibidor  $R_{pags} = 136,39$ . Los resultados fueron similares a los discutidos anteriormente que se obtuvieron con la regresión lineal de las medidas de LP. **tabla 1** compara los resultados obtenidos de la regresión lineal y el análisis de velocidad de corrosión, con y sin el inhibidor. También se enumeran los valores de las tasas de corrosión.

**Tabla 1.** Resultados de la regresión lineal del LP y el análisis de la velocidad de corrosión de los experimentos con y sin el inhibidor.

| Parámetro                                                                               | Sin inhibidor | Con inhibidor |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|
| $mi_{corr}$ (V) de regresión lineal                                                     | -0,479        | -0,392        |
| $mi_{ccor}$ (V) del análisis de la velocidad de corrosión                               | -0,482        | -0,396        |
| $R_{pags}$ () de regresión lineal                                                       | 42,62         | 135,96        |
| $R_{pags}$ () del análisis de la velocidad de corrosión                                 | 43,32         | 136,39        |
| Tasa de corrosión ( $milímetro\ a\ no^{-1}$ ) del análisis de la velocidad de corrosión | 0,25          | 0,065         |

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El hecho de que el valor de la  $R_{pags}$  calculado con el análisis de velocidad de corrosión está cerca del valor calculado con la regresión lineal del LP es una indicación adicional de que los parámetros de corrosión calculados son válidos. Se puede observar que la velocidad de corrosión del material en la

solución con el inhibidor ( $0.065 \text{ mm año}^{-1}$ ) es mucho menor que la velocidad de corrosión medida en las mismas condiciones en el electrolito sin el inhibidor ( $0,25 \text{ mm año}^{-1}$ ).

De acuerdo con la norma ASTM G185, la eficiencia del inhibidor se puede calcular con la siguiente Ecuación:

$$\text{Inhibitor efficiency (\%)} = 100 \cdot \frac{CR_{no\ inhib} - CR_{inhib}}{CR_{no\ inhib}}$$

Donde  $RC_{no\ inhib}$  ( $\text{mm año}^{-1}$ ) es la velocidad de corrosión calculada sin inhibidor, y  $RC_{inhib}$  ( $\text{mm año}^{-1}$ ) es la velocidad de corrosión calculada en presencia del inhibidor.

Usando la tasa de corrosión del análisis de la tasa de corrosión (**tabla 1**), la eficiencia del inhibidor se calcula en 74%.

## CONCLUSIONES

Esta nota de aplicación ejemplifica un uso común del electrodo de cilindro giratorio en el campo de la investigación de la corrosión industrial y académica. Se emplearon dos electrolitos, uno de los cuales contenía un inhibidor de corrosión a base de triptamina. Los experimentos de polarización lineal se realizaron a una velocidad de rotación de 500 RPM, correspondiente a una velocidad de fluido  $RCE = 82,3 \text{ cm s}^{-1}$  ( $2.7 \text{ pies}^{-1}$ ) dentro de una tubería con cédula

40, con un diámetro interno de  $30.32 \text{ cm}$  ( $12''$ ). Los El efecto del inhibidor se evaluó a partir de la observación visual, la regresión lineal y el análisis de la velocidad de corrosión de los datos de polarización lineal.

Finalmente, se calculó la eficiencia del inhibidor, mostrando que la velocidad de corrosión en presencia del inhibidor es un 74% menor que sin el inhibidor.

## REFERENCIAS

1. ASTM G185-06(2016), Práctica estándar para evaluar e inhibidores de corrosión de refinерías y campos petroleros calificados Usando el electrodo de cilindro rotatorio, ASTM International, West Conshohocken, Pensilvania, 2016, [www.astm.org](http://www.astm.org)
2. Libro blanco de Metrohm Autolab: "Mejores prácticas de corrosión. Creación de condiciones de flujo de tuberías mediante un cilindro de rotación Electrodo".

## CONTACT

Metrohm Argentina S.A.  
Avda. Regimiento de  
Patricios 1456  
1266 Buenos Aires

[info@metrohm.com.ar](mailto:info@metrohm.com.ar)

## CONFIGURACIÓN



### Autolab PGSTAT204

El PGSTAT204 combina un pequeño tamaño con un diseño modular. El aparato incluye un potenciostato/galvanostato base con una tensión de cumplimiento de 20 V y una corriente máxima de 400 mA o de 10 A cuando se combina con el BOOSTER10A. El potenciostato se puede ampliar en todo momento con un módulo adicional, por ejemplo, el módulo FRA32M para la espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS).

El PGSTAT204 es un aparato asequible que puede colocarse en cualquier lugar del laboratorio. Dispone de entradas y salidas analógicas y digitales para controlar los accesorios de Autolab y los dispositivos externos. El PGSTAT204 incluye un integrador analógico incorporado. Junto con el potente software NOVA, puede usarse para la mayoría de las técnicas electroquímicas estándar.



### Autolab PGSTAT302N

Este potenciostato/galvanostato de calidad superior y alta corriente, con una tensión de cumplimiento de 30 V y un ancho de banda de 1 MHz, combinado con nuestro módulo FRA32M, está especialmente diseñado para la espectroscopía de impedancia electroquímica.

El PGSTAT302N es el sucesor del popular PGSTAT30. La corriente máxima es de 2 A, cuyo rango se puede ampliar a 20 A con el BOOSTER20A, y la resolución de corriente es de 30 fA con un rango de corriente de 10 nA.



### Célula de corrosión de 0,250 L

Célula completa para medidas de corrosión, 250 mL.



### Electrodo de cilindro rotatorio (RCE)

El electrodo de cilindro rotatorio (RCE) Autolab con un contacto con líquidos sin carbono proporciona unas **excelentes medidas de corrosión sin ruido**. El contacto de Hg del RCE produce datos sencillos y precisos que no requieren manipulación ni herramientas especiales para el uso en su laboratorio. Con la **mayor velocidad de rotación** entre los sistemas disponibles en el mercado, el electrodo de cilindro rotatorio Autolab le permite simular la más amplia variedad de condiciones de flujo en tubería en su laboratorio. El **RCE tiene el doble de velocidad de rotación** que cualquier otro **electrodo de cilindro rotatorio de 12 mm**, por lo que los flujos alcanzables son un 50% más altos que los de cualquier otro RCE disponible en el mercado.

### Máximos flujos turbulentos simulados:

en la tubería de 1 pulgada/2,66 cm con grosor 40 es de 365 cm/s

en la tubería de 24 pulgadas/57,48 cm con grosor 40 es de 566 cm/s.

El Autolab RCE es **muy compacto**, solo una décima parte del tamaño de otros RCE disponibles en el mercado. Resulta posible acceder a la velocidad de rotación completa del Autolab RCE (100-5000 rpm) con un cilindro de 12 mm.

**Gama de temperatura de funcionamiento:** máx. 40 °C

**Superficie de muestra expuesta:** 3 cm<sup>2</sup>

La imagen muestra el RCE y el controlador, la célula RRDE, PGSTAT204 y el software NOVA.

Palabras clave: electrodo de cilindro rotatorio, corrosión, RCE, flujo de tubería, flujo turbulento, corrosión en tuberías, tuberías, número de Reynolds, muestra cilíndrica.