

La Salle <sup>8</sup>  
21  
300627



FACULTAD DE QUÍMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUÍMICA

"CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN  
POR DOS MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS"  
(Trabajo escrito vía cursos de educación continua)

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO QUÍMICO**  
PRESENTA:  
**MIGUEL PABLO JUÁREZ VARGAS**

MEXICO, D.F. 1997



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## ÍNDICE

I) INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
II) INFORMACIÓN GENERAL.....	6
EL MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS (INTRODUCCIÓN).....	6
EL MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS.....	9
EL MÉTODO DE EXTRAPOLACIÓN DE TAFEL.....	11
EL MÉTODO A LA RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN.....	14
MÉTODO EXPERIMENTAL.....	16
III) ANÁLISIS DE LA INFORMACION.....	18
REPORTE DE DATOS OBTENIDOS DE LAS EJECUCIONES DEL PROGRAMA EN CASOS PRACTICOS.....	18
TABLA GENERAL DE DATOS DEL ACERO 1020 EN $H_2SO_4$ 0.05 M.....	19
TABLA GENERAL DE DATOS DEL ACERO 1020 EN $HNO_3$ 0.1M.....	20
TABLA GENERAL DE DATOS DEL ACERO INOXIDABLE 304 EN AGUA DE MAR.....	21
TABLA GENERAL DE DATOS DEL ACERO GALVANIZADO EN AGUA DE MAR.....	22
TABLA GENERAL DE DATOS DEL ZINC EN AGUA DE MAR.....	23
TABLA GENERAL DE DATOS DEL ACERO INOXIDABLE 304 EN $H_2SO_4$ 1M.....	24
IV) CONCLUSIONES.....	25
V) BIBLIOGRAFIA.....	26
ANEXO I PROGRAMA EN LENGUAJE Q-BASIC QUE CALCULA LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN POR EL MÉTODO DE LA EXTRAPOLACIÓN DE TAFEL Y POR EL MÉTODO DE RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN.....	27


### **Jurado asignado:**

**Presidente**      *Prof. Joan Genesca Llongueras*  
**Vocal**            *Prof. Antonio Huerta Cerdan*  
**Secretario**      *Prof. Francisco Javier Rodríguez Gómez*  
**1er. Suplente**    *Prof. Carlos Rodríguez Rivera*  
**2do. Suplente**   *Prof. Carlos Rosendo Arganis Juárez*

**Sitio donde se desarrolló el tema:**  
*Edificio "D", Facultad de Química*

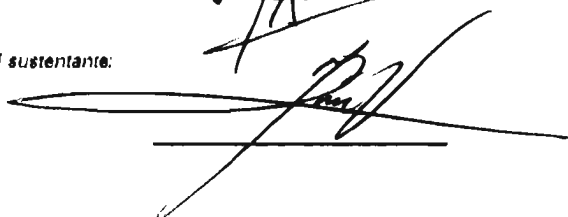
**Nombre completo y firma del asesor del tema:**

*Prof. Joan Genesca Llongueras*

  
\_\_\_\_\_

**Nombre completo y firma del sustentante:**

*Angel Pablo Juarez Vargas*

  
\_\_\_\_\_

A mis padres:  
Con admiración y respeto

## **1) INTRODUCCION**

### **ANTECEDENTES**

La corrosión es un fenómeno destructivo que ataca a los metales, materiales en los que la humanidad ha basado su desarrollo, desde que pudo extraerlos y manejarlos de una forma eficiente. Pero, ¿ Qué es la corrosión y cómo procede ?:

Las reacciones de la corrosión son reacciones redox en las cuales un metal es atacado por alguna sustancia que se encuentra en sus alrededores y lo convierte en un compuesto indeseable.

El fenómeno corrosivo más común es el de la oxidación del hierro. Desde el punto de vista económico, es el proceso de corrosión más importante, ya que se calcula que aproximadamente el 20% del hierro que se produce al año en países como Estados Unidos esta destinado a reemplazar piezas del mismo metal que se han dañado debido a la corrosión.

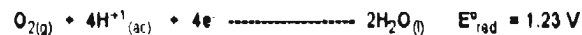
La oxidación del hierro lleva implícita como se sabe, la participación del oxígeno; el hierro no se oxida en agua, a menos que se encuentre presente el  $O_2$  . La oxidación también implica al agua; el hierro no se oxida en aceite, aún cuando contenga  $O_2$  , a menos que también exista en el medio  $H_2O$ . estas combinaciones se deben a las reacciones de oxido-reducción que se necesitan para completar el proceso de corrosión, es decir, si por algun motivo las condiciones necesarias para efectuar la reacción de oxidación (reacción anódica) ó la reacción de reducción (reacción catódica) no son las adecuadas el proceso de corrosión se detendra. Otros factores como el pH de la solución, la presencia de sales, el contacto con metales más nobles que el

hierro (metales con potenciales estandar más positivos), y el esfuerzo sobre el hierro pueden acelerar su oxidación.

La corrosión del hierro es de naturaleza electroquímica. Una parte de la superficie del hierro sirve de ánodo en donde el hierro va sufriendo dicha oxidación:

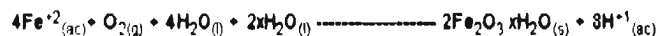


Los electrones producidos se desplazan por el metal a otra parte de la superficie que sirve de cátodo. Aquí es donde el oxígeno puede ser reducido:



Es de hacer notar que el  $\text{H}^{+1}$  participa en la reducción del  $\text{O}_2$ . Conforme va disminuyendo la concentración del  $\text{H}^{+1}$  (esto conforme va aumentando el pH) va haciéndose menos favorable la reducción del  $\text{O}_2$ .

Se ha descubierto que el hierro en contacto con una solución cuyo pH es superior a 9 o 10 no se oxida. Durante el proceso corrosivo, el  $\text{Fe}^{+2}$  que se forma en el ánodo, se oxida aún más en  $\text{Fe}^{+3}$ . El Fe forma el óxido férrico hidratado, conocido como herrumbre:



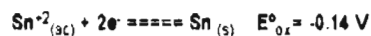
Como en el cátodo tiene mayor cantidad de  $\text{O}_2$  la herrumbre a menudo se deposita en él, esto se puede notar en piezas metálicas que están expuestas a la intemperie o en contacto con tierra húmeda.

El incremento en la corrosión debido al aumento de sales se hace muy evidente en los automóviles que transitan por áreas en donde se han echado sales en el invierno para derretir la nieve o en aquellos asentamientos urbanos o industriales ubicados en las zonas costeras. La presencia de las sales favorece el mecanismo voltaico: Los iones de una sal proporcionan el electrolito necesario para completar el circuito eléctrico.

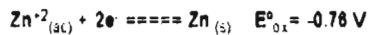
La presencia de sitios aniónicos y catiónicos en el hierro requieren dos medios químicos diferentes sobre su superficie. Esto se puede presentar debido a la presencia de impurezas o

defectos cristalinos ( Probablemente introducidos por fuerzas sobre el metal). En aquellos sitios que presenta tales defectos o impurezas el medio a nivel atómico al rededor del átomo de hierro puede permitir que el metal sea más o menos fácilmente oxidado que en los sitios de redes normales. Así, estos sitios pueden servir ya sea como ánodos o como cátodos. El hierro ultrapuro está preparado de tal manera que minimiza estos defectos cristalinos siendo mucho menos susceptible a la corrosión que el hierro ordinario.

El hierro a menudo se cubre con una capa de pintura u otro metal como el estaño, zinc o cromo, para proteger su superficie contra la corrosión. Las "latas de estaño" se producen aplicando una delgada capa de estaño sobre el hierro, ya que el estaño protege al hierro solamente durante el tiempo que la capa protectora permanece intacta. Una vez que ésta se ha roto quedando el hierro expuesto al aire y al agua, el estaño promueve en realidad la corrosión del hierro. Esto se provoca porque el estaño sirve a manera de cátodo en la corrosión electroquímica, debido a que tiene un potencial de reducción más positivo que el del hierro; como se muestra en los siguientes potenciales de medias celdas, el hierro es más fácilmente oxidado que el estaño:



Por lo tanto, el hierro actúa a manera de ánodo y se oxida. El "hierro galvanizado" se produce proporcionándole a este metal una cubierta con una fina capa de zinc. El zinc protege al hierro contra la corrosión, aún después de que sea roto la superficie cubierta, en este caso el hierro actúa como el cátodo en la corrosión electroquímica, debido a que el zinc se oxida con mayor facilidad que el hierro ya que tiene un potencial de oxidación más negativo que el del hierro:



Por lo tanto, el zinc sirve como el ánodo y es el que se corroe en lugar del hierro. La protección



de un metal haciendo que se convierta en el cátodo de una celda electroquímica se conoce como protección catódica. Con frecuencia las tuberías subterráneas se protegen contra la corrosión haciendo de la tubería el cátodo de una celda galvánica. Se entierran junto con la tubería fragmentos de un metal activo, conectándolos a ella mediante un cable. En suelos húmedos donde puede llegar a presentarse la corrosión, el metal activo sirve como ánodo y la tubería sufre una protección catódica.

Aunque esta introducción se ha centrado en el hierro, éste no es el único metal que pueda sufrir la corrosión. Un hecho que puede parecer sorprendente es que las latas de aluminio, arrojadas con descuido al medio se corroen mucho más lentamente que una lata de acero. Sobre la base de los potenciales estándar del aluminio ( $E^{\circ}_{\text{ox}} = -1.66 \text{ V}$ ) y del hierro ( $E^{\circ}_{\text{ox}} = -0.44 \text{ V}$ ), cabría esperar que se corroiera con mucha mayor facilidad el aluminio. La corrosión lenta del aluminio se explica por la formación de una cubierta compacta y delgada de óxido que se forma en la superficie. Esto protege al metal subyacente de una corrosión adicional. El magnesio, que también tiene un potencial de oxidación menor queda protegido de manera semejante. La cubierta de óxido de hierro es muy porosa como para proporcionar una protección similar, sin embargo, cuando el hierro se une al cromo, se forma una capa de óxido protector. Tales aleaciones reciben el nombre de aceros inoxidable. ( 2 ); ( 3 ); ( 4 ).\*

\*Referencias bibliográficas.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ahora que ya se tiene un concepto más objetivo de que es la corrosión y como funciona; se comprenderá mejor la magnitud del problema al que se enfrenta el profesional industrial responsable de un sistema de producción en el cual puede haber fallas debidas a corrosión, esta persona ante todo es consciente de que de ella dependen: 1º La integridad de su personal y su comunidad y 2º El mantener el proceso de producción libre de fallas que pudieran suspenderlo.

Como ya se mencionó existen métodos para evitar y controlar la corrosión de un sistema, pero esto no es suficiente, siempre será necesario el monitoreo periódico de los materiales y maquinaria salvaguardados, para tener siempre información de primera mano sobre el comportamiento del sistema protegido como de su mecanismo de protección anticorrosiva.

Dos métodos muy utilizados para este tipo de análisis preventivo son: 1) El de Resistencia a la polarización y 2) El de Extrapolación de Tafel, los cuales determinan la velocidad de corrosión instantánea de un sistema, estos métodos son muy apreciados por relativa su sencillez y rapidez de ejecución; y mi propuesta es que si a esa ganga, añadimos las ventajas de cálculo de variables por medio de un modelo probabilístico como el de los mínimos cuadrados que nos permitiera estimar con un pequeño margen de error la velocidad de corrosión de un sistema, haciendo muy objetivas nuestras apreciaciones, por medio de un programa de computadora en lenguaje Q-BASIC de fácil y rápida ejecución.

## II) INFORMACION GENERAL

### EL METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS

#### Introducción

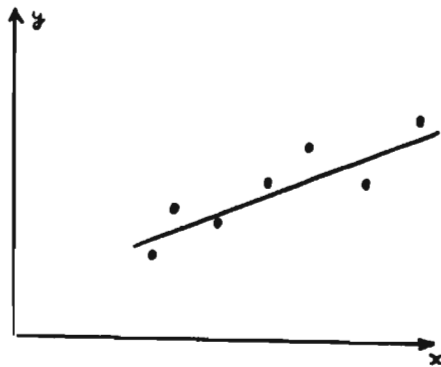
En la estadística existen dos tipos de métodos de inferencia, el primer grupo lo forman los métodos en los que se supone que las variables aleatorias  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  son independientes e igualmente distribuidas, y que el valor esperado de  $Y_i$ ,  $E(Y_i)$ , es constante (si existe). Es decir,  $E(Y_i) = \text{media}$  no depende de ninguna otra variable. Obviamente este supuesto no es válido en la mayoría de los problemas. Por ejemplo, el promedio de distancia de frenado de un automóvil dependerá de su velocidad; la efectividad media de un antibiótico dependerá del tiempo durante el cual haya sido almacenado; la media de la elongación observada en una aleación metálica depende de la fuerza que se aplica y de la temperatura de la aleación, en este trabajo se explotará el procedimiento inferencial que puede utilizarse cuando una variable aleatoria  $Y$ , denominada variable dependiente, tiene una media que es función de una o más variables no aleatorias,  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , designadas variables independientes. ( En este contexto los términos "independiente" y "dependiente" se utilizan en el sentido matemático. No existe ninguna relación con el concepto probabilístico de variables aleatorias independientes).

Se pueden utilizar muchos tipos de funciones matemáticas para representar el modelo de una respuesta que sea función de una o más variables independientes. Es posible clasificar estos dos modelos en dos categorías, los modelos determinísticos y los modelos probabilísticos. Por ejemplo, supongamos que nos interesa relacionar una respuesta  $y$  con una variable  $x$  y que el conocimiento del campo científico establece que  $y$  y  $x$  están relacionadas según la ecuación:

$$y = b_0 + b_1x$$

(en donde  $b_1$  y  $b_0$  son parámetros desconocidos). Este modelo se denomina "modelo matemático determinístico" porque no permite algún error en la predicción de  $y$  como función de  $x$ . O sea, que  $y$  siempre toma el valor de  $b_0 + b_1(20)$  cuando  $x = 20$ .

Supongamos que se obtiene una muestra de  $n$  valores de  $y$  que corresponden a  $n$  diferentes valores de la variable independiente  $x$ , y que la representación gráfica de los datos es como aparecen en el siguiente gráfico:



Es evidente en la gráfica que el valor esperado de  $y$  puede aumentar como una función lineal de  $x$ , pero que un modelo determinístico queda muy lejos de ser una descripción adecuada de la realidad. Al repetir los experimentos para  $x = 20$ ,  $y$  fluctúa de manera aleatoria. Esto indica que el modelo determinístico no es una representación exacta de la relación entre las dos variables. Además, si se utilizara el modelo para predecir  $y$  cuando  $x = 20$ , la predicción tendría un error desconocido. Esto naturalmente, nos conduce a la aplicación de los métodos estadísticos. La predicción de  $y$  para un valor dado de  $x$  es un proceso inferencial y se requieren conocer las propiedades del error de la predicción si ésta va a ser de utilidad en la realidad.

En contraste con los modelos determinísticos, los estadísticos utilizan modelos probabilísticos. Por ejemplo, se pueden representar los resultados de la gráfica por el modelo:

$$E(Y) = b_0 + b_1x$$

lo que equivale a:

$$Y = b_0 + b_1x + e$$

en donde  $e$  es una variable aleatoria con una distribución de probabilidad específica con media cero.  $Y$  considérese a  $Y$  como una variable que tiene un componente determinístico  $E(Y)$ , más un componente aleatorio  $e$ . Este modelo toma en cuenta el comportamiento aleatorio de  $Y$  representado en la gráfica y es una mejor aproximación a la realidad que el modelo determinístico. Además, se pueden obtener las propiedades del error de predicción para  $Y$ .

En los libros de texto científicos y matemáticos abundan los modelos determinísticos de la realidad. Las funciones matemáticas que aparecen en los libros de cálculo y de física se utilizan muchas veces como modelos matemáticos determinísticos de la realidad. Por ejemplo, la segunda ley de Newton que expresa la relación de la masa y la aceleración de un cuerpo con la fuerza que se le aplica:

$$F = ma$$

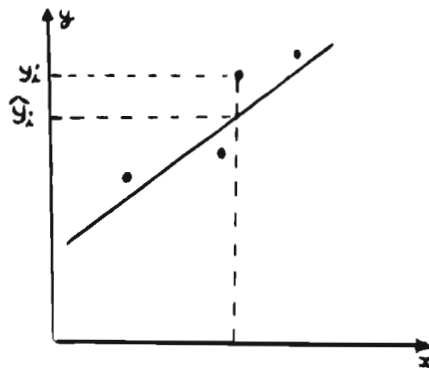
es un modelo determinístico, que para fines prácticos establece predicciones con un error pequeño. Al contrario muchos otros modelos que se representan gráficamente en publicaciones y libros científicos son muy deficientes. Se ha dejado de insistir en la dispersión de los puntos, similar al comportamiento aleatorio de los puntos de la gráfica de muestra, que ponen de manifiesto sus imperfecciones, lo cual lleva a muchas personas a aceptar las leyes y teorías propuestas en la ciencia como una descripción exacta de la realidad.

Si se pueden aplicar los modelos determinísticos para hacer predicciones con un error insignificante para fines prácticos se pueden utilizar. Si no, se debe buscar un modelo

probabilístico, que no será una descripción exacta de la realidad, pero nos permitirá estimar la validez de nuestras estimaciones. ( 1 ).\*

### El Método de los Mínimos Cuadrados

Un procedimiento para estimar los parámetros de cualquier modelo lineal es el método de los mínimos cuadrados, que se puede ilustrar sencillamente aplicándolo para ajustar una línea recta a través de un conjunto de puntos que representan los datos de un fenómeno en particular, como el que se muestra en la figura:



El modelo a seguir será  $E(Y) = b_0 + b_1 x$  ( Se debe notar que la variable independiente  $x$  podría ser  $w^2$  o bien  $w^{1/2}$  o aun más  $\ln w$  ). Es decir se postula  $Y = b_0 + b_1 x + e$ , en donde  $e$  tiene una distribución de probabilidad con  $E(e) = 0$ . Si  $B_0$  y  $B_1$  son estimadores de los parámetros  $b_0$  y  $b_1$ , entonces  $y = B_0 + B_1 x$  es obviamente un estimador de  $E(Y)$ .

El procedimiento de los mínimos cuadrados para ajustar una recta a través de un conjunto de  $n$  puntos es similar al método que podríamos utilizar para ajustar una recta a simple vista; es decir, se pretende que las desviaciones sean pequeñas. Una manera conveniente de lograr esto, y que

\* Referencia bibliográfica.

aporta estimadores con propiedades adecuadas, es minimizar la suma de los cuadrados de las desviaciones verticales de la recta ajustada, (veance las desviaciones ilustradas en la figura). Por lo tanto si  $y_i = B_0 + B_1 x_i$ , es el valor que se predice del  $i$ -ésimo valor de  $y$  (cuando  $x = x_i$ ), entonces la desviación del valor observado de  $y$  a partir de la recta  $y$  (llamada a veces el error) es:  $y_i - \hat{y}_i$  y la suma de los cuadrados de las desviaciones que deben minimizarse es:

$$SCE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum (y_i - (B_0 + B_1 x_i))^2$$

La cantidad SCE se llama también suma de los cuadrados de los errores por motivos que se explican a continuación.

Si SCE tiene un mínimo este ocurrirá para los valores de  $B_0$  y  $B_1$  que satisfacen las ecuaciones:

$$\frac{d SCE}{d B_0} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{d SCE}{d B_1} = 0$$

Al obtener las derivadas parciales de SCE con respecto a  $B_0$  y  $B_1$ , respectivamente, y al igualarlas a cero, se obtiene:

$$\frac{d SCE}{d B_0} = \frac{d}{d B_0} \sum (y_i - (B_0 + B_1 x_i))^2 = -2 \sum (y_i - (B_0 + B_1 x_i)) = -2 (\sum y_i - n B_0 - B_1 \sum x_i) = 0$$

$$\frac{d SCE}{d B_1} = \frac{d}{d B_1} \sum (y_i - (B_0 + B_1 x_i))^2 = -2 \sum (y_i - (B_0 + B_1 x_i)) x_i = -2 (\sum x_i y_i - B_0 \sum x_i - B_1 \sum x_i^2) = 0$$

Las dos derivadas anteriores se denominan ecuaciones de los mínimos cuadrados para estimar los parámetros de una recta.

Hay que notar que las ecuaciones de los mínimos cuadrados son lineales en  $B_0$  y  $B_1$  y por lo tanto se pueden resolver simultáneamente. Y puede verificarse que las soluciones son:

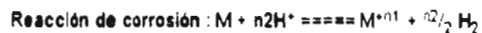
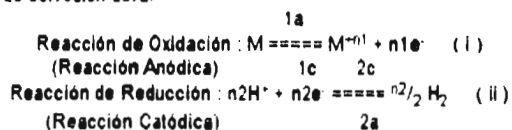
$$B_1 = \frac{(\sum x_i - x)(\sum y_i - \bar{y})}{(\sum x_i - x)^2} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$B_0 = \bar{y} - B_1 \bar{x} \quad ; \quad (1)^*$$

\* Referencia bibliográfica

## EL METODO DE EXTRAPOLACION DE TAFEL

La teoría del potencial mixto postula que una reacción de corrosión es el resultado de dos o más reacciones electroquímicas parciales independientes. En el caso de un metal en un medio ácido la reacción de corrosión será:



Este par de reacciones pueden ocurrir en cualquier parte de la superficie en una distribución aleatoria.

Al aplicar las ecuaciones de Butler-Volmer a estas semireacciones, obtenemos las bases para nuestro planteamiento matemático:

$$i_1 = i_{1a} + i_{1c} = i_0 (e^{f1a} - e^{-f1c})$$

$$i_2 = i_{2a} + i_{2c} = i_0 (e^{f2a} - e^{-f2c})$$

$$f1a = \frac{f - f_1}{b'_{1a}} \quad , \quad f1c = \frac{-f - f_1}{b'_{1c}}$$

$$f2a = \frac{f - f_2}{b'_{2a}} \quad , \quad f2c = \frac{-f - f_2}{b'_{2c}}$$

$$i_T = i_1 + i_2 = i_{1a} + i_{1c} + i_{2a} + i_{2c}$$

Donde:

$i_{1a}$  e  $i_{2a}$  = Corrientes anódicas de cada semireacción

$i_{1c}$  e  $i_{2c}$  = Corrientes catódicas de cada semireacción



$i_T$  = Corriente total (medida experimentalmente)

$f_1$  = Potencial de equilibrio de la semireacción i

$f_{ii}$  = Potencial de equilibrio de la semireacción ii

$f$  = Potencial de la reacción

$i_1$  = Corriente de intercambio para la semireacción i en el  $f_1$

$i_{ii}$  = Corriente de intercambio para la semireacción ii en el  $f_{ii}$

$$b'_{1a} = \frac{RT}{(1-A_1)n_1F} \quad b'_{2a} = \frac{RT}{(1-A_2)n_2F}$$

$$b'_{1c} = \frac{RT}{-A_1n_1F} \quad b'_{2c} = \frac{RT}{-A_2n_2F}$$

$R$  = Constante de los gases ideales

$T$  = Temperatura absoluta

$A$  = Coeficiente de transferencia de carga ( $A_1 + A_2 = 1$ )

$n_1$  y  $n_2$  = número de electrones intercambiados en las semireacciones

$F$  = Constante de Faraday

Como el  $f_{con}$  es un potencial mixto, debe estar situado entre los potenciales mixtos reversibles

$$f_1 < f_{con} < f_{ii}$$

En la mayoría de los casos se puede despreciar los componentes anódicos y catódicos que son demasiado lentos, en este caso serán las reacciones 1c y 2a; con lo que la ecuación general (1)

se simplifica a :

$$i_T + i_{1a} + i_{2c} = (i_1 e^{1a} - i_{ii} e^{2c}) \quad (2)$$

Pero al  $f_{con}$  la corriente total es igual a cero y esto quiere decir que :

$$i_{1a} f_{con} = i_{2c} f_{con} = i_{con}$$

Por lo tanto :

$$i_{con} = i_1 e^{1a} = i_{ii} e^{2c}$$

Tomando esta ecuación y transformandola por logaritmos a una ecuación lineal se obtiene :

$$f_{con} = f_1 e^{1a}$$

$$\ln(i_{corr}) = \ln(i_0 e^{\alpha})$$

$$\ln(i_{corr}) = \ln(i_0) + \ln(e^{\alpha})$$

$$\ln(i_{corr}) = \ln(i_0) + \frac{f - f_0}{b'_{1g}}$$

$$b'_{1g} \ln(i_{corr}) = b'_{1g} \ln(i_0) + f$$

$$f = 2.3 b'_{1g} \log(i_0) - 2.3 b'_{1g} \log(i_{corr})$$

$$f = b \log(i_0) - b \log(i_{corr})$$

Donde  $b$  es la pendiente de Tafel; que con el método de los mínimos cuadrados se calculará, para después obtener el  $\log(i_{corr})$ , en el punto donde  $f = f_{corr}$  y así obtener la velocidad de corrosión del sistema.

Pero hay que aclarar que estas ecuaciones son válidas dentro de los siguientes parámetros:

- 1) Las ecuaciones de Butler-Volmer deben ser aplicables
  - 2) Que en el sistema no existan caídas óhmicas causadas por el electrolito ni por capas superficiales del electrodo
  - 3) No haya polarización por concentración
  - 4) El potencial de corrosión no este cercano a los potenciales de equilibrio de ninguna de las reacciones que ocurran en el electrodo
  - 5) El metal funciona simultaneamente como cátodo y ánodo, en ese caso la corrosión se efectúa uniformemente
  - 6) No ocurran reacciones electroquímicas secundarias
- ( 5 ); ( 8 ); ( 9 ).\*

\*Referencias bibliográficas.

## EL METODO DE RESISTENCIA A LA POLARIZACION

En 1957 Stern y Geary demostraron que hay una relación lineal entre el potencial y la corriente aplicada a potenciales poco alejados del potencial de corrosión, y entonces se definió la resistencia a la polarización como :

$$R_p = \frac{df}{dI_T} \Big|_{I_{corr}}$$

Como  $R_p$  es la derivada de una curva de polarización en  $f_{corr}$  se puede tomar la ecuación (2) que representa nuestro proceso de corrosión experimental que se supone cumple una serie de restricciones ya mencionadas :

$$I_T + I_{1a} + I_{2c} = (I_0 \theta^{1a} - I_{0c} \theta^{2c})$$

Si derivamos esta ecuación con respecto de  $f$ , obtenemos :

$$\frac{dI_T}{df} = \frac{I_0}{b'_{1a}} \theta^{1a} + \frac{I_{0c}}{b'_{2c}} \theta^{2c}$$

Si esta derivada la evaluamos en el punto  $f = f_{corr}$ ; la ecuación que se obtiene es:

$$\frac{dI_T}{df} \Big|_{f_{corr}} = I_{corr} \left( \frac{1}{b'_{1a}} + \frac{1}{b'_{2c}} \right)$$

Y como  $R_p = \frac{df}{dI_T} \Big|_{I_{corr}}$ ; se obtiene :

$$I_{corr} = \frac{b'_{1a} \cdot b'_{2c}}{b'_{1a} + b'_{2c}} \cdot \frac{1}{R_p}$$

Y si  $b'_{1a} = \frac{b}{2.3}$ , obtenemos la ecuación que relaciona la  $I_{corr}$  con la  $R_p$  y las pendientes de Tafel:

$$i_{corr} = \frac{b_{1a} \cdot b_{2c}}{2.3(b_{1a} + b_{2c})} \cdot \frac{1}{Rp}$$

Donde :

$b_{1a}$  = pendiente de Tafel correspondiente a la parte anódica

$b_{2c}$  = pendiente de Tafel correspondiente a la parte catódica

( 5 ); ( 8 ); ( 9 ).

\*Referencias bibliográficas.

## METODO EXPERIMENTAL

### Equipo

1) Celda de polarización, 2) Soporte de electrodo para muestra, 3) Muestra, 4) Electrodo auxiliar y de referencia 5) Potenciostato que pueda aplicar un barrido de potencial y que tenga salidas a tierra para el potencial y la corriente, lo que permitira registrar la curva de polarización sobre un graficador x-y.

### Procedimiento Experimental

La muestra debe pulirse con un pulimento húmedo usando papel de SIC de 800 granos/cm<sup>2</sup>, y no debe de transcurrir más de una hora entre el pulimento y el desarrollo del experimento.

Preparar una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 Normal, grado reactivo con agua destilada y llevar a cabo el experimento a 30 °C.

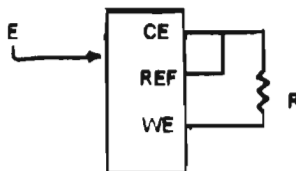
Por lo menos media hora antes de la inmersión de la probeta comience a purgar la solución con H<sub>2</sub> libre de O<sub>2</sub> a un flujo de 150 cm<sup>3</sup>/min y continúe purgando a lo largo de todo el experimento.

### Prueba del Equipo Eléctrico

Antes de que se comience a obtener lecturas de datos, es necesario probar el sistema eléctrico (potenciostato y graficador x-y) para asegurarse de tener un funcionamiento adecuado el

potenciostato se conecta a una celda ficticia como la siguiente:

CE = Electrodo del medidor  
REF = Electrodo de referencia  
WE = Electrodo de trabajo  
R = Resistencia  
E = Electrostatato



Use una resistencia de 10 Ω, ajuste el potencial aplicado al potenciostato a E = -30 mV y aplique

el potencial; la corriente debe ser  $i = E/R = 3 \text{ mA}$ .

Trazar la curva de polarización potenciodinámica desde  $E = -30 \text{ mV}$  a  $E = +30 \text{ mV}$  y luego a  $E = -30 \text{ mV}$ . La gráfica debe ser lineal, pasar por el origen y tener pendiente de  $R = 10 \Omega$ . Las curvas trazadas para el barrido de potencial hacia adelante y hacia atrás deben ser idénticas. En el caso que la curva de polarización trazada no pase por el origen o no tenga la pendiente correcta, o ambas, calibre el potencióstato y el graficador x-y de acuerdo con las especificaciones del fabricante

#### Procedimiento del Ensayo Electroquímico

Lleve la muestra a la celda de prueba y ajuste el extremo de la probeta del puente salino de manera que este de 2 a 3 mm de la superficie del electrodo de prueba.

Registre el potencial de corrosión ( $E_{\text{corr}}$ ) después de 5 y 55 min de inmersión. Registre el potencial del electrodo auxiliar 50 min después de la inmersión de la muestra. Ajuste el potencial aplicado al valor que corresponda al resultado del producto del sobrepotencial usado por 12, este valor debe de localizarse tantos mV más negativos como sea necesario de acuerdo al potencial de corrosión registrado. Aplique este potencial y ajuste la sensibilidad del graficador, de manera que la lectura de corriente este cerca de la escala total.

Un minuto después de la aplicación del potencial, comience a rastrear el potencial anódico a una velocidad de barrido de  $0.6 \text{ V/hr}$  ( $\pm 5\%$ ), registrando el potencial y la corriente continuamente. Termine el barrido de potencial, cuando se alcance un potencial equivalente al resultado del producto del sobrepotencial usado por 12, por arriba del potencial de corrosión.

Grafique la curva de polarización, como un gráfica lineal de ( $i$  vs.  $E$ ). Debe de tenerse en consideración que el programa propuesto en este trabajo acepta 25 pares de datos ( $i, E$ ) incluido el par que corresponde a  $E_{\text{corr}}$ , por eso solo basta registrar 12 medidas de  $i$  hacia el sentido anódico y 12 hacia el catódico. ( 6 ); ( 7 ).\*

\*Referencias bibliográficas.

### **III) ANÁLISIS DE INFORMACIÓN**

REPORTES DE DATOS OBTENIDOS DE LAS  
EJECUCIONES DEL PROGRAMA EN CASOS  
PRÁCTICOS

TABLA GENERAL DE DATOS DEL:  
ACERO 1020 EN H2SO4 0.05 M

E (mV)	I (mA)	LOG(ABS(I))
.....	.....	.....
-374.92	3.68	.5658596
-383.26	2.76	.4489248
-391.6	1.96	.2922782
-399.94	1.28	.1072439
-408.28	.92	-3.616496E-02
-416.62	.52	-.2839132
-424.96	.32	-.4947143
-433.3	.24	-.6196079
-441.64	.16	-.7956087
-449.98	.12	-.928457
-458.32	.08	-1.096367
-466.66	.04	-1.396056
-475	.001	-2.958607
-483.34	-.08	-1.897453
-491.68	-.12	-.9211808
-500.02	-.16	-.7961515
-508.36	-.2	-.6991872
-516.7	-.28	-.5529971
-525.04	-.32	-.4949858
-533.38	-.4	-.3980486
-541.72	-.48	-.3188493
-550.06	-.6	-.2219211
-558.4	-.72	-.1427278
-566.74	-.88	-5.556668E-02
-575.08	-1.04	1.699156E-02

DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE TAFEL  
 LA PENDIENTE ANODICA b1 VALE: 10.27943 mV/dec  
 LA PENDIENTE CATODICA b2 VALE: 6.667027 mV/dec  
 LA Icorr OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA VALE: 1.548575E-03 mA  
 LA Icorr OBTENIDA DE LA PENDIENTE CATODICA VALE: 1.238224E-03 mA  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA ES:  
 2.809176E-02 mpa= 1.105975E-03 infy  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE PENDIENTE CATODICA ES:  
 2.231674E-02 mpa= 8.786119E-04 infy

DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE Rp  
 EL VALOR DE Rp ES: 213.8468 mV/mA  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION DE LA Rp CALCULADA ES DE:  
 .1491552 mpa= 5.372251E-03 infy

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA



TABLA GENERAL DE DATOS DEL:  
ACERO 1020 EN HNO3 .1 M

E (mV)	I (mA)	LOG(ABS(I))
.....	.....	.....
-435	5.25	.7201676
-440	4.75	.6767027
-445	4.25	.6283991
-450	3.75	.5740429
-455	3.25	.5110967
-460	2.85	.4540601
-465	2.35	.3710063
-470	1.9	.2787765
-475	1.45	.161398
-480	1.05	2.123064E-02
-485	.65	-.1070199
-490	.2	-.6987529
-495	-.2	-.6991072
-500	-.5	-.3011169
-505	-.95	-2.232212E-02
-510	-1.4	.146097
-515	-1.7	.2304234
-520	-2.1	.3221906
-525	-2.45	.3891404
-530	-2.8	.4471425
-535	-3.1	.4913477
-540	-3.45	.5370065
-545	-3.75	.5740197
-550	-4	.6020491
-555	-4.35	.6384793

DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE TAFEL  
 LA PENDIENTE ANODICA b1 VALE: 60.90339 mV/dec  
 LA PENDIENTE CATODICA b2 VALE: 47.65587 mV/dec  
 LA I<sub>corr</sub> OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA VALE: .6035706 mA  
 LA I<sub>corr</sub> OBTENIDA DE LA PENDIENTE CATODICA VALE: .5301214 mA  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA ES:  
 12.40024 mmpa= .4881904 infy  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE PENDIENTE CATODICA ES:  
 9.61661 mmpa= .3706067 infy

DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE Rp  
 EL VALOR DE Rp ES: 11.76471 mV/mA  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION DE LA Rp CALCULADA ES DE:  
 17.93407 mmpa= .7060658 infy

TABLA GENERAL DE DATOS DEL:  
ACERO INOXIDABLE 304 EN AGUA DE MAR -

E (mV)	I (mA)	LOG(ABS(I))
.....	.....	.....
-46	1.04	1.707500E-02
-66	.6	-.2217764
-86	.195	-.7097427
-106	.137	-.8629625
-126	.032	-1.493495
-146	.021	-1.675718
-166	.015	-1.821023
-186	.012	-1.917215
-206	.01	-1.995679
-226	.009	-2.040959
-246	.006	-2.21467
-266	.004	-2.307216
-286	.002	-2.677781
-306	.001	-2.958607
-326	-.001	-3.045750
-346	-.002	-2.721246
-366	-.002	-2.721246
-386	-.003	-2.537602
-406	-.006	-2.229148
-426	-.008	-2.102373
-446	-.11	-.9590023
-466	-.15	-.8241984
-486	-.16	-.7449600
-506	-.22	-.6577747
-526	-.27	-.5687971

DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE TAFEL

LA PENDIENTE ANODICA b1 VALE: 169.2305 mV/dec  
 LA PENDIENTE CATODICA b2 VALE: 123.1357 mV/dec  
 LA I<sub>corr</sub> OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA VALE: 3.349146E-03 mA  
 LA I<sub>corr</sub> OBTENIDA DE LA PENDIENTE CATODICA VALE: 6.416545E-04 mA  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA ES:  
 3.808300E-02 mmpa= 1.53003E-03 in/y  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE PENDIENTE CATODICA ES:  
 7.449513E-03 mmpa= 2.932079E-04 in/y

DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE Rp

EL VALOR DE Rp ES: 10000 mV/mA  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION DE LA Rp CALCULADA ES DE:  
 3.59777E-02 mmpa= 1.416446E-03 in/y

TABLA GENERAL DE DATOS DEL:  
ACERO GALVANIZADO EN AGUA DE MAR -

E (mV)	I (mA)	LOG:ABS(I)
.....	.....	.....
-850	17.21	1.235783
-870	15.28	1.184126
-890	13.42	1.127756
-910	11	1.041397
-930	9.72	.9876707
-950	7.97	.9014637
-970	6.27	.7972745
-990	4.55	.658021
-1010	2.8	.4471735
-1030	.784	-.1856386
-1050	.053	-1.274905
-1070	.01	-1.995679
-1090	.005	-2.29243
-1110	.005	-2.29243
-1130	.007	-2.148742
-1150	.008	-2.291315
-1170	.009	-2.040959
-1190	.009	-2.040959
-1210	.008	-2.091515
-1230	.007	-2.148742
-1250	.007	-2.148742
-1270	-.001	-3.045758
-1290	-.008	-2.102373
-1310	-.02	-1.701147
-1330	-.076	-1.444906

DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE TAFEL  
 LA PENDIENTE ANODICA b1 VALE: 135.4547 mV/dec  
 LA PENDIENTE CATODICA b2 VALE: -272.2732 mV/dec  
 LA Icorr OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA VALE: .5249551 mA  
 LA Icorr OBTENIDA DE LA PENDIENTE CATODICA VALE: 5.550064E-03 mA  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA ES:  
 6.894e5 mmpa= .2399468 in/yr  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE PENDIENTE CATODICA ES:  
 6.443541E-02 mmpa= 2.535827E-03 in/yr

DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE Rp  
 EL VALOR DE Rp ES: 77.02183 mV/SA  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION DE LA Rp CALCULADA ES DE:  
 17.62e04 mmpa= .6955132 in/yr

TABLA GENERAL DE DATOS DEL:  
ZINC EN AGUA DE MAR -

E (mV)	I (mA)	LOG(ABS(I))
-618	.181	-1.7420016
-638	.159	-1.7983298
-658	.141	-1.850473
-678	.12	-1.920457
-698	.105	-1.9783973
-718	.09	-2.045275
-738	.076	-2.118615
-758	.062	-2.206908
-778	.049	-2.308918
-798	.036	-2.442493
-818	.019	-2.718967
-838	.005	-2.29243
-858	-.001	-3.045758
-878	-.005	-2.309804
-898	-.006	-2.229148
-918	-.007	-2.161151
-938	-.008	-2.102373
-958	-.009	-2.05061
-978	-.009	-2.05061
-998	-.009	-2.05061
-1018	-.008	-2.102373
-1038	-.008	-2.102373
-1058	-.008	-2.102373
-1078	-.008	-2.102373
-1098	-.008	-2.102373

DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE TAFEL  
 LA PENDIENTE ANODICA b1 VALE: 262.4162 mV/dec  
 LA PENDIENTE CATODICA b2 VALE: 268.4429 mV/dec  
 LA Icorr OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA VALE: 2.438901E-02 mA  
 LA Icorr OBTENIDA DE LA PENDIENTE CATODICA VALE: 4.145959E-03 mA  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA ES:  
 .3648579 mpa= 1.436448E-02 infy  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE PENDIENTE CATODICA ES:  
 6.202326E-02 mpa= 2.441861E-03 infy

DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE Rp  
 EL VALOR DE Rp ES: 1621.622 mV/mA  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION DE LA Rp CALCULADA ES DE:  
 .5322499 mpa= 2.095472E-02 infy

TABLA GENERAL DE DATOS DEL:  
ACERO INOXIDABLE 304 EN H2SO4 1 M

E (mV)	I (mA)	LOG(ABS(I))
.....	.....	.....
-247	1.09	3.746635E-02
-267	1.48	.1782911
-287	1.86	.2695363
-307	2.18	.3384764
-327	2.15	.3324587
-347	1.9	.2787765
-367	1.661	.2283958
-387	1.347	.1293998
-407	1.17	6.822296E-02
-427	1	4.342728E-05
-447	.675	-.1786319
-467	.258	-.538212
-487	.188	-.9661743
-507	-.46	-.3373366
-527	-.884	-5.359687E-02
-547	-1.169	6.777737E-02
-567	-1.152	6.141476E-02
-587	-1.13	5.384801E-02
-607	-1.111	4.567494E-02
-627	-1.092	3.818287E-02
-647	-1.071	2.974891E-02
-667	-1.049	.8287341
-687	-1.025	1.868148E-02
-707	-1.035	1.489837E-02
-727	-1.035	1.489837E-02

DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE TAFEL  
 LA PENDIENTE ANODICA b1 VALE: 243.8389 mV/dec  
 LA PENDIENTE CATODICA b2 VALE: 41.83765 mV/dec  
 LA I<sub>corr</sub> OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA VALE: .5158771 mA  
 LA I<sub>corr</sub> OBTENIDA DE LA PENDIENTE CATODICA VALE: .1173794 mA  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA ES:  
 5.989256 mmpa= .2357975 in/yr  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE PENDIENTE CATODICA ES:  
 1.362757 mmpa= 5.365186E-02 in/yr

DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE Rp  
 EL VALOR DE Rp ES: 78.54674 mV/mA  
 LA VELOCIDAD DE CORROSION DE LA Rp CALCULADA ES DE:  
 2.555144 mmpa= .1085962 in/yr

## **IV) CONCLUSIONES**

1) ES OBJETIVO CONSTANTE DEL INGENIERO QUÍMICO USAR Y DE SER POSIBLE DESARROLLAR LA TECNOLOGÍA NECESARIA PARA CREAR PROCESOS QUÍMICOS SEGUROS Y EFICIENTES.

2) LA FORMACIÓN ACADÉMICA Y ÉTICA DEL INGENIERO QUÍMICO PREVE EL IMPACTO AMBIENTAL DE UNA FALLA DENTRO DE UN PROCESO QUÍMICO Y PROPONE SOLUCIONES DE ORIGEN.

3) EL ADECUADO CONTROL DE LA CORROSIÓN TIENE EFECTOS ECONÓMICOS DE CORTO Y LARGO ALCANCE, LO QUE AUMENTA LA COMPETITIVIDAD DE UNA EMPRESA QUE LLEVA A CABO DENTRO DEL MERCADO INTERNO Y EXTERNO.

4) ES MUY CONVENIENTE QUE LAS AUTORIDADES GUBERNAMENTALES Y DE LA INICIATIVA PRIVADA FORMEN Y COORDINEN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE LOS PROCESOS QUÍMICOS ENTRE LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS Y LAS PLANTAS PRODUCTIVAS DE MÉXICO.

5) LA ACTUALIZACIÓN PROFESIONAL DEL INGENIERO QUÍMICO PERMANENTE DEVIDO AL AVANCE DE LA TECNOLOGÍA, ESPECIALMENTE EN EL CAMPO DE LA INFORMÁTICA.

6) LA PROGRAMACIÓN DE MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS PARA EL CONTROL DE LA CORROSIÓN COMO EL DE LA EXTRAPOLACIÓN DE TAFEL Y LA RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN, APOYADOS EN MÉTODOS ESTADÍSTICOS DE CÁLCULO COMO EL DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS PUEDE FIGURAR COMO UNA HERRAMIENTA DE GRAN UTILIDAD EN EL TRABAJO DEL PROFESIONAL A CARGO DE UN PROCESO QUÍMICO.

## **V) BIBLIOGRAFÍA**

- 1) Mendenhall, Scheaffer y Wackerly, "Estadística matemática con aplicaciones", 1988, Grupo editorial Iberoamérica S.A. de C.V., versión al español de la tercera edición, México.
- 2) Genescá y Ávila, "Más allá de la herrumbre I", 1986, Fondo de cultura económica S.A. de C.V., primera edición del no. 9 de la colección "La ciencia desde México", México.
- 3) Genescá y Ávila, "Más allá de la herrumbre II", 1989, Fondo de cultura económica S.A. de C.V., primera edición del no. 79 de la colección "La ciencia desde México", México.
- 4) Genescá, "Más allá de la herrumbre III", 1994, Fondo de cultura económica S.A. de C.V., primera edición del no. 121 de la colección "La ciencia desde México", México.
- 5) Meas, Genescá y Ávila, "Tres métodos para evaluar una velocidad de corrosión", enero-abril 1991, Ingeniería hidráulica en México, México.
- 6) Norma ASTM G59-91, "Standard practice for conducting potentiodynamic polarization resistance measurements"
- 7) Evas, "The corrosion and oxidation of metals: scientific principles and practical applications", 1977, Edward Arnold (Publishers) LTD., London, England.
- 8) Diplomado básico en ingeniería de corrosión y protección, Apuntes, Módulo I: "Teoría de la corrosión 1", 1996, México.
- 9) Diplomado básico en ingeniería de corrosión y protección, Apuntes, Módulo II: "Teoría de la corrosión 2", 1996, México.

## **ANEXO I**

PROGRAMA EN LENGUAJE Q-BASIC QUE CALCULA  
LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN POR EL MÉTODO  
DE LA PLARIZACIÓN



```

DIM CORR(25): DIM X(25): DIM G(25)
PRINT
PRINT
PRINT
PRINT
PRINT
PRINT
PRINT 'ESTE PROGRAMA PUEDE PREDECIR LA VELOCIDAD DE CORROSION POR EL'
PRINT 'METODO DE TAFEL, CON CAPACIDAD DE ALMACENAR 25 PARES ORDENADOS'
PRINT 'DE LA SIGUIENTE FORMA P(E,LOG(I)); PARA ESTO SOLO SERA NECESARIO'
PRINT 'QUE EL USUARIO ALIMENTE EL POTENCIAL DE REPOSO DE LA MUESTRA (Ecorr),'
PRINT 'EL INTERVALO DE SOBRE POTENCIAL USADO (AE) PARA OBTENER LAS 12 MEDIDAS'
PRINT 'DE POLARIZACION HACIA EL SENTIDO CATODICO COMO AL ANODICO QUE SE'
PRINT 'NECESITAN Y POR ULTIMO LAS 25 MEDIDAS DE CORRIENTE (I), EMPEZANDO'
PRINT 'POR LA 1 ANODICAS, PARA TERMINAR CON LAS CATODICAS'
PRINT 'CON QUE METAL SE TRATA': INPUT M#
PRINT 'CON QUE SOLUCION SE TRABAJO': INPUT S#
PRINT 'CUAL FUE LA CONCENTRACION DE LA SOLUCION': INPUT C#
PRINT 'No. DE EQUIVALENTES DEL METAL': INPUT V#
PRINT 'MASA ATOMICA DEL METAL': INPUT V1#
PRINT 'DENSIDAD DEL METAL EN gr/cm3': INPUT V2#
PRINT 'SUPERFICIE DE LA MUESTRA EN cm2': INPUT V3#
PRINT 'CUAL ES EL VALOR DE Ecorr ': INPUT C#
PRINT 'CUAL FUE LA MEDIDA DE SOBRE POTENCIAL USADA ': INPUT D#
FOR I = 1 TO 25
PRINT 'CUAL ES EL VALOR DE I': I: INPUT CORR(I)
X(I) = LOG(ABS(CORR(I) + .0001)) / LOG(10)
PRINT 'LOG(I) = ': X(I)
NEXT I
CLS
F = C + 12 # D
FOR I = 1 TO 25
G(I) = F - D # (I - 1)
A = 40 + FIX(X(I) # 10)
J = A + 1
LOCATE I, 1: PRINT CHR$(199): LOCATE I, 3: PRINT G(I): BEEP
LOCATE I, A: PRINT CHR$(248): LOCATE I, D: PRINT I
IF I = 13 THEN
FOR J = 5 TO 60
M = J / 10
IF M = INT(J / 10) THEN
LOCATE 13, J: PRINT CHR$(202): BEEP
ELSE
LOCATE 13, J: PRINT CHR$(205): BEEP
END IF
NEXT J
ELSEIF I = 14 THEN
FOR J = 1 TO 70
M = J / 10
IF M = INT(J / 10) THEN
E = M - 4
LOCATE 14, J: PRINT E
END IF
NEXT J
END IF
NEXT I

PRINT 'DESEAS CONTINUAR HACIA LA PARTE DE CALCULOS': INPUT A#
IF A# = 'SI' THEN CLS
PRINT 'Datos necesarios para el calculo de la pendiente de Tafel anodica b1'
PRINT '1er. PUNTO PARA EFECTUAR AJUSTE EN LA ZONA ANODICA': INPUT Q#
PRINT 'ULTIMO PUNTO PARA EFECTUAR AJUSTE EN LA ZONA ANODICA': INPUT R#
PRINT 'Datos necesarios para el calculo de la pendiente de Tafel catodica b2'
PRINT '1er. PUNTO PARA EFECTUAR AJUSTE EN LA ZONA CATODICA': INPUT O#

```

```

PRINT "ULTIMO PUNTO PARA EFECTUAR AJUSTE EN LA ZONA CATODICA": INPUT R1
PRINT "Datos necesarios para el calculo de la Rp"
PRINT "1er. PUNTO PARA ENCONTRAR EL VALOR DE Rp": INPUT R10
PRINT "2do. PUNTO PARA ENCONTRAR EL VALOR DE Rp": INPUT R11
CLS
S1 = R - Q + 1
S5 = R; - Q; + 1
FOR I = 0 TO R
S2 = S2 + X(I)
S3 = S3 + (X(I)) ^ 2
T1 = T1 + G(I)
T2 = T2 + X(I) * G(I)
NEXT I
M = (S1 * T2 - S2 * T1) / (S1 * S3 - S2 ^ 2)
N = (S3 * T1 - S2 * T2) / (S1 * S3 - S2 ^ 2)
U = (C - N) / M; U1 = 10 * U
FOR I = 0 TO R1
S6 = S6 + X(I)
S7 = S7 + (X(I)) ^ 2
T5 = T5 + G(I)
T6 = T6 + X(I) * G(I)
NEXT I
V1 = (S5 * T6 - S6 * T5) / (S5 * S7 - S6 ^ 2); M3 = -1 * M1
N1 = (S7 * T5 - S6 * T6) / (S5 * S7 - S6 ^ 2)
U5 = (C - N1) / M1; U6 = 10 * U5
V4 = U1 * V1 * 36 * 24 * 365 / (96500 * V * V2 * V3)
V5 = V4 / 25.4
V6 = U6 * V1 * 36 * 24 * 365 / (96500 * V * V2 * V3)
V7 = V6 / 25.4
F12 = (G(R1) - G(R10)) / (CORR(R11) - CORR(R10))
F13 = M * M3 / (2.5 * (M + M3) * R12); R14 = ABS(R13)
V8 = R14 * V1 * 36 * 24 * 365 / (96500 * V * V2 * V3)
V9 = V8 / 25.4
PRINT : LPRINT
PRINT : LPRINT
PRINT : LPRINT
PRINT : LPRINT
PRINT "TABLA GENERAL DE DATOS DEL: "
PRINT TAB(25); M; " EN "; S6; " "; C0
PRINT TAB(15); "E (mV)"; TAB(25); "I (mA)"; TAB(35); "LOG(ABS(I))"
PRINT TAB(15); "....."; TAB(25); "....."; TAB(35); "....."
LPRINT TAB(25); "TABLA GENERAL DE DATOS DEL: "
LPRINT TAB(25); M6; " EN "; S6; " "; C0
LPRINT
LPRINT
LPRINT
PRINT TAB(15); "E (mV)"; TAB(25); "I (mA)"; TAB(35); "LOG(ABS(I))"
LPRINT TAB(15); "....."; TAB(25); "....."; TAB(35); "....."
FOR I = 1 TO 25
PRINT TAB(15); G(I); TAB(25); CORR(I); TAB(35); X(I)
LPRINT TAB(15); G(I); TAB(25); CORR(I); TAB(35); X(I)
NEXT I
PRINT : LPRINT
PRINT : LPRINT
PRINT : LPRINT
PRINT : LPRINT
PRINT : LPRINT
PRINT "DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE TAFEL"
LPRINT "DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE TAFEL"
PRINT "LA PENDIENTE ANODICA b1 VALE: "; M; " mV/dec"
LPRINT "LA PENDIENTE ANODICA b1 VALE: "; M; " mV/dec"
PRINT "LA PENDIENTE CATODICA b2 VALE: "; M3; " mV/dec"
LPRINT "LA PENDIENTE CATODICA b2 VALE: "; M3; " mV/dec"
PRINT "LA Icorr OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA VALE: "; U1; " mA"
LPRINT "LA Icorr OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA VALE: "; U1; " mA"
PRINT "LA Icorr OBTENIDA DE LA PENDIENTE CATODICA VALE: "; U6; " mA"

```

```

LPRINT "LA Icorr OBTENIDA DE LA PENDIENTE CATODICA VALE: "; U6; " mA"
PRINT "LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA ES: "
PRINT V4; " mpa="; V3; " infy"
LPRINT "LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE LA PENDIENTE ANODICA ES: "
LPRINT V4; " mpa="; V5; " infy"
PRINT "LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE PENDIENTE CATODICA ES: "
PRINT V6; " mpa="; V7; " infy"
LPRINT "LA VELOCIDAD DE CORROSION OBTENIDA DE PENDIENTE CATODICA ES: "
LPRINT V6; " mpa="; V7; " infy"
PRINT ; LPRINT
PRINT ; LPRINT
PRINT ; LPRINT
PRINT "DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE Rp"
LPRINT "DATOS OBTENIDOS POR EL METODO DE Rp"
PRINT "EL VALOR DE Rp ES: "; R12; " mV/mA"
LPRINT "EL VALOR DE Rp ES: "; R12; " mV/mA"
PRINT "LA VELOCIDAD DE CORROSION DE LA Rp CALCULADA ES DE: "
PRINT V8; " mpa="; V9; " infy"
LPRINT "LA VELOCIDAD DE CORROSION DE LA Rp CALCULADA ES DE: "
LPRINT V8; " mpa="; V9; " infy"

```