



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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijare,
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Estudio de la respuesta al pH del Electrodo de Acero
Inoxidable 316 con Electromulido

que presenta el pasante: Miguel Angel Domínguez Delgadillo
 con número de cuenta: 09718860-9 para obtener el título de :
Ingeniero Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 21 de Abril de 2004

PRESIDENTE I.Q. Fernando Orozco Ferreyra

VOCAL M.C. José de Jesús Pérez Saavedra

SECRETARIO I.Q. Ariel Bautista Salgado

PRIMER SUPLENTE Ing. Antonio Trejo Lugo

SEGUNDO SUPLENTE Q. Sonia Rincón Arce

DEDICADO A:

Mis maestros y padres, Ramiro A. Domínguez y Blanca E. Delgadillo.

Por ser lo más cercano que conozco a la palabra amor, por abrigarme con sus grandes y calurosos besos en todos los momentos de mi vida, por brindarme libertad y confianza a cada paso dado, por jugar a que no veían mis travesuras cuando niño, por reconfortarme en los momentos de tristeza, o por guiarme en mis momentos de incertidumbre les dedico algo más que este trabajo, les dedico mi vida (su amado hijo).

Mi hermanos, Dalia Domínguez y Avenamar.

Por ser unos niños estudiosos y juguetones además de la causa de muchos accidentes felices en mi vida quiero dedicarles mi amistad y admiración. Dalia eres un amor y tu Avenamar eres muy listo.

Mi amor y novia, Martha Klingeman 300601

Por ser mi adorable aliada en todo momento, por ser cariñosa, por permitirme reflejar mi imagen en tu ojos, por todas esas sonrisas que me haz regalado, por todos los momentos de consuelo o alegría que recuerdo en tus brazos, por el todo el amor que en mi inspiras quiero compartir contigo este avance, ah y por todas esas tareas que me pasaste espero que sientas mi amor incondicional chaparrita.

Mis queridos amigos.

A todos los amigos con los que he compartido buenos momentos y muy en especial a Jonathan Salas Rubio mi mejor amigo.

Mi Universidad

Por que POR MI RAZA HABLARA MI ESPIRITU, gracias a tí máxima y única casa de estudios, te llevo dentro de mí.

AGRADECIMIENTOS:

A todos los profesores, personal administrativo, bibliotecarios, laboratoristas y personal de mantenimiento de la FES Cuautitlán por hacer posible el funcionamiento de la escuela que me formó durante estos últimos 4 años, de manera muy especial a mis asesores José Jesús Pérez y Sonia Rincón por todo su conocimiento, tiempo, entusiasmo, dedicación, cuidado y amistad que me han brindado de manera incondicional, gente como ellos hace de la U.N.A.M. la máxima casa de estudios y hace que el conocimiento se vuelva una buena razón para encontrar nuevos amigos, nunca los olvidare.

**ESTUDIO DE LA RESPUESTA AL PH DEL ELECTRODO
DE ACERO INOXIDABLE 316 CON ELECTROPULIDO**

ESTUDIO DE LA RESPUESTA AL PH DEL ELECTRODO DE ACERO INOXIDABLE 316 CON ELECTROPULIDO

INDICE	PAGINA
RESUMEN	1
1. CAPITULO I OBJETIVOS	3
2. CAPITULO II INTRODUCCIÓN	
2.1 Acidos y Bases	4
2.2 Equilibrios Redox	6
2.3 Electroodos	9
2.4 Proceso de Electropulido	20
3. CAPITULO III DESARROLLO EXPERIMENTAL	
3.1 Metodología experimental	26
3.1.1 <i>Elaboración de los Electroodos Electropulidos A, B, C, D y E.</i>	26
3.1.2 <i>Evaluación de los Electroodos Electropulidos A, B, C, D y E.</i>	28
3.1.3 <i>Evaluación del cumplimiento de la ley de Nernst para el electrodo de acero 316 electropulico mediante la valoración de Acido Fosfórico con Hidróxido de Sodio.</i>	29
4. CAPITULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	
4.1 Resultados y Análisis de Resultados	32
5. CAPITULO V CONCLUSIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	56

ESTUDIO DE LA RESPUESTA AL pH DEL ELECTRODO DE ACERO INOXIDABLE 316 CON ELECTROPULIDO

RESUMEN

En la década de los 90 se iniciaron investigaciones para encontrar electrodos que sustituyeran al electrodo de vidrio dando nuevas alternativas de aplicación. El electrodo de acero inoxidable 316 es un sustituyente atractivo debido a que no se quiebra durante los períodos de mantenimiento, por lo tanto no desprende fragmentos de vidrio en su proceso, es estable, con frecuencias de calibración mucho menores a las del electrodo convencional, tiene una respuesta rápida incluso a bajas temperaturas, posee una vida útil superior al electrodo convencional y es más barato.

En el presente trabajo se muestran los resultados de la evaluación de la estabilidad de las lecturas de pH como una función del tiempo, el tiempo de recuperación de la respuesta de 5 electrodos de acero inoxidable 316 con acabado espejo (electropulido) y su comparación con un electrodo convencional de vidrio.

Cinco barras de acero inoxidable 316 fueron electropulidas¹. (A, B, C, D, E.) Una de las barras o electrodos se sumerge por separado en soluciones reguladoras de pH comerciales de 2, 4, 7, 10 y 13. En cada valor de pH teórico se tomó el valor del potencial, $pH_{\text{experimental}}$ y la temperatura. Este mismo procedimiento se siguió con un electrodo comercial combinado referencia/vidrio para medir pH. Las lecturas se tomaron durante 3 semanas, 3 veces por semana en un intervalo de 48 hrs con un total acumulado de 432 hrs.

De acuerdo al resultado obtenido, los electrodos de acero 316 electropulidos muestran un comportamiento de tipo Nernstiano y son estables a través del tiempo.

Puede destacarse el hecho de que por sus dimensiones, costo, respuesta, manejo, interferencias, etc... los electrodos de acero 316 electropulido presentan ventajas sobre otro tipo de dispositivos comerciales fabricados para el mismo fin.

**ESTUDIO DE LA RESPUESTA AL pH DEL ELECTRODO DE ACERO
INOXIDABLE 316 CON ELECTROPULIDO**

CAPITULO I
OBJETIVOS

OBJETIVOS

1. Elaborar Electroodos de Acero 316 Electropulido.
2. Verificar experimentalmente que el Electrodo de Acero 316 Electropulido presenta respuesta al pH.
3. Evaluar la estabilidad de respuesta del electrodo en función del tiempo.

Para lograr los objetivos propuestos se realizó lo siguiente:

En la “Introducción” se da una reseña con los antecedentes, principio de funcionamiento y mantenimiento del electrodo de vidrio. En el “Desarrollo experimental” se describe la metodología ilustrando fotográficamente los montajes experimentales desarrollados mientras que en los “Resultados y análisis de resultados” se muestran tablas y gráficas con los resultados de las pruebas realizadas, por último en las “Conclusiones” se determina el cumplimiento o incumplimiento de los objetivos.

**ESTUDIO DE LA RESPUESTA AL pH DEL ELECTRODO DE ACERO
INOXIDABLE 316 CON ELECTROPULIDO**

CAPITULO II
INTRODUCCION

2.1 ACIDOS Y BASES

En el siglo dieciséis, el alquimista Leonard Thurneysser descubrió que el matiz de la savia violeta cambiaba al añadirle ya sea ácido sulfuroso o ácido sulfúrico. Este indicador temprano fue ampliamente usado a lo largo de los siguientes siglos para detectar ácidos.

Con la introducción de la teoría de los iones por Arrhenius en el decenio de 1880, se desarrollaron las primeras teorías referentes a la disociación de los ácidos y las bases. Bronsted, quien postulaba que los ácidos y las bases eran sustancias capaces de donar y recibir iones de hidrógeno, hizo un aporte adicional al refinar estas teorías iniciales.

Ya en 1904, Hans Friedenthal había establecido exitosamente la primera escala para clasificar a los ácidos mediante la determinación de las constantes de disociación para ácidos débiles, de acuerdo a su conductividad y correlacionando cambios de color correspondientes a diferentes concentraciones de iones de hidrógeno utilizando 14 tintes indicadores.

Los números de concentración de iones de hidrógeno de los cálculos de Friedenthal eran pequeños y difíciles de manipular. Así, Lauritz Sorensen sugirió el uso del logaritmo negativo de estos números, a lo que llamó "exponente hidrógeno" ó "pondus Hydrogennii." Esto condujo al desarrollo del término pH y a la creación de la escala moderna de pH.

En 1889, Walter Nernst publicó la ley que lleva su nombre. La ecuación de Nernst relaciona la medida de potencial con el pH:

$$E = E_0 + (RT/nF) \log[H^+]$$

(ec. 2.1)

Donde

E = potencial galvánico del electrodo en equilibrio con la solución

E_0 = potencial estándar del electrodo a pH 7

R = constante de los gases

T = temperatura en grados Kelvin

n = número de electrones intercambiados.

F = constante de Faraday

H^+ = actividad del ion hidrógeno

Esta es la base para la determinación cuantitativa de la concentración del ion hidrógeno ó pH.

Por definición, los ácidos son las especies químicas capaces de liberar protones (donadores de protones) y las bases son las especies químicas capaces de captar protones (receptores de protones).

Una solución se define como neutra cuando tiene la misma cantidad de iones hidrógeno que iones hidroxilo, esa solución neutra es el agua pura. Una solución se define como ácida cuando tiene mayor cantidad de iones hidrógeno que iones hidroxilo, se denominará alcalina en el sentido inverso.

En vista de la dificultad de interpretación de las notaciones de las potencias negativas, Sorensen, dió el término de "pH" (potencial hidrógeno) que por definición es el logaritmo de base 10 a la inversa de la concentración de ión

hidrógeno, en otras palabras, el pH resulta ser el logaritmo negativo de la concentración de hidrógeno².

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

(ec. 2.2)

Habitualmente los ácidos y las bases se clasifican como fuertes o débiles, dependiendo de si reaccionan “por completo” o “parcialmente” para formar H^+ u OH^- . Puesto que existe un intervalo continuo de posibilidades para las reacciones “parciales”, no hay frontera bien definida entre fuerte y débil. Sin embargo, algunos compuestos reaccionan completamente y es fácil considerarlos ácidos o bases fuertes y por convención cualquier otro comportamiento se define como débil.

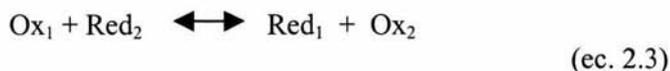
Fórmula	Nombre
Acidos	
HCl	Acido Clohídrico
HBr	Acido Bromihídrico
H_2SO_4	Acido Sulfúrico
HNO_3	Acido Nítrico
Bases	
LiOH	Hidróxido de Litio
NaOH	Hidróxido de Sodio
KOH	Hidróxido de Potasio
CsOH	Hidróxido de Cesio
RbOH	Hidróxido de Rubidio

Tabla 2.1 Ácidos y bases fuertes más comunes.

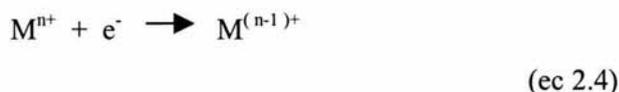
Los ácidos y bases fuertes más comunes son mostrados en la tabla 2.1. Por definición un ácido o base fuertes son aquellos que se disocian completamente en solución acuosa³.

2.2 EQUILIBRIOS REDOX

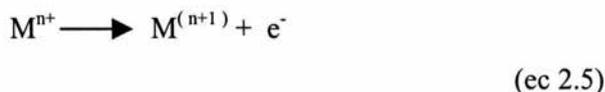
Una reacción de óxido-reducción también llamada reacción “redox” es aquella que se produce entre un agente oxidante y un agente reductor:



Ox_1 se reduce a Red_1 y Red_2 se oxida a Ox_2 . Ox_1 es el agente oxidante y Red_2 es el agente reductor. La tendencia de una sustancia a oxidar o reducir dependerá de su estado de oxidación (de su valencia). Mientras mayor sea su estado de oxidación, mostrará en general más tendencia a tomar uno o varios electrones para reducirse a un estado de oxidación inferior:

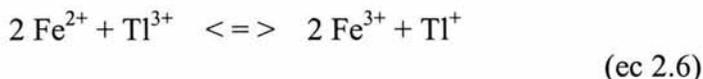


Por lo contrario, mientras menor sea su estado de oxidación, dicha tendencia será menor y mostrará más disposición a efectuar el proceso opuesto, es decir, cederá electrones y se oxidará:



Cuando la forma oxidada de un ión metálico forma un complejo, este será más estable y difícil de reducir: por lo tanto su tendencia a ganar electrones disminuirá.⁴

El tratamiento de los equilibrios de oxidación-reducción se realiza mediante la utilización de los potenciales de semireacción de cada par redox implicado. Por ejemplo:



en esta reacción intervienen dos pares redox:



y



La tendencia de cada par redox a proceder hacia la reducción se cuantifica mediante el potencial de reducción. En el caso anterior:

$$E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = E^{\circ}_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} + 0,059 \log \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]} \quad (\text{ec. } 2.7)$$

y

$$E_{\text{Tl}^{3+}/\text{Tl}^{+}} = E^{\circ}_{\text{Tl}^{3+}/\text{Tl}^{+}} + \frac{0,059}{2} \log \frac{[\text{Tl}^{3+}]}{[\text{Tl}^{+}]} \quad (\text{ec. } 2.8)$$

En el equilibrio ambos potenciales se igualan y por lo tanto, el potencial de la disolución podrá determinarse aplicando cualquiera de las ecuaciones anteriores.

Los potenciales estándar están relacionados con la constante de equilibrio de la reacción. En el caso anterior:

$$\log K = \frac{2 (E^{\circ}_{\text{Tl}^{3+}/\text{Tl}^{+}} - E^{\circ}_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}})}{0,059} \quad (\text{ec. 2.9})$$

Por comodidad es más común utilizar los potenciales en lugar de las constantes⁵.

2.3 ELECTRODOS

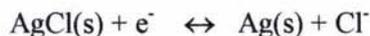
2.3.1 ELECTRODOS DE REFERENCIA³.

En la mayor parte de las aplicaciones electroanalíticas es vital que el potencial de uno de los electrodos sea conocido y completamente insensible a la composición de la solución en estudio. Y esta es la función del electrodo de referencia.

ELECTRODO DE REFERENCIA DE PLATA-CLORURO DE PLATA.

El electrodo de referencia plata-cloruro de plata se muestra en la figura 2-1, este posee un potencial estándar de reducción del par $\text{AgCl} | \text{Ag}$ y es +0.222 V a 25 °C, si la actividad del cloruro fuese 1 molar. Pero la actividad del Cl^- en una disolución saturada de KCl 25 °C no es 1 de modo que el potencial de la figura 2-1 resulta ser de 0.197 V respecto al electrodo estándar de hidrógeno a 25 °C.

Electrodo AgCl/Ag:



$$E = E^\circ + \frac{0.06}{1} \log \frac{1}{[\text{Cl}^-]}$$

$$E = E^\circ - 0.06\text{pCl}^-$$

$$E^\circ = 0.222 \text{ V}$$

$$E(\text{saturado en KCl}) = 0.197 \text{ V}$$

ELECTRODO DE CALOMELANOS.

El electrodo de calomelanos se basa en la siguiente reacción

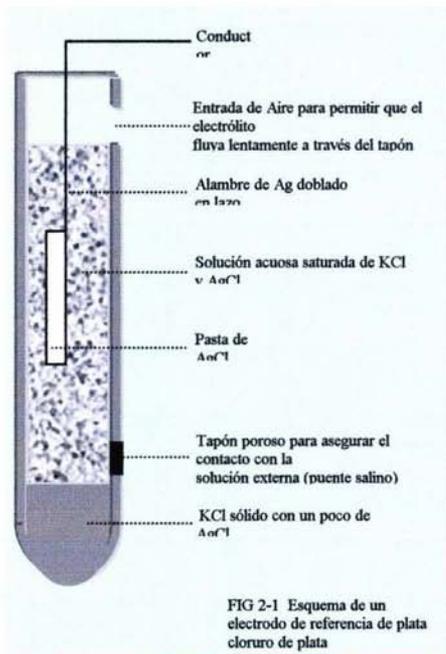


$$E = E^\circ + \frac{0.06}{1} \log \frac{1}{[\text{Cl}^-]}$$

$$E = E^\circ - 0.06\text{pCl}^-$$

$$E^\circ = 0.268 \text{ V}$$

$$E(\text{saturado en KCl}) = 0.241 \text{ V}$$



2.3.2. ELECTRODOS INDICADORES.

Un electrodo indicador es aquel que responde de manera rápida y reproducible a los cambios de actividad del ión en estudio. Hay dos tipos de electrodos indicadores: los metálicos y los de membrana, dentro de estos últimos, esta el:

***E*LECTRODO DE VIDRIO**

Antecedentes:

En 1875, Thomson reconoció que el vidrio actuaba como un electrolito sólido en el cual los iones de metal alkali pueden transportar corriente. En 1906 Max Cremer fue el primero en aplicar el vidrio como una membrana semipermeable para determinaciones electroquímicas.

Tres años después, Haber and Klemensiewicz reconocieron la trascendencia de la Ecuación de Nernst y comenzaron deliberadamente a utilizar el electrodo de vidrio para registrar curvas de titulación. Los electrodos completos de vidrio no aparecieron sino hasta la década de 1920, y su fabricación comercial empezó en la década de 1930.

Funcionamiento³

En la figura 2-3 se presenta el esquema de un electrodo combinado típico, el cuál incorpora el electrodo de vidrio y el de referencia en un solo cuerpo. En notación de barras, esta celda puede expresarse de la manera siguiente:

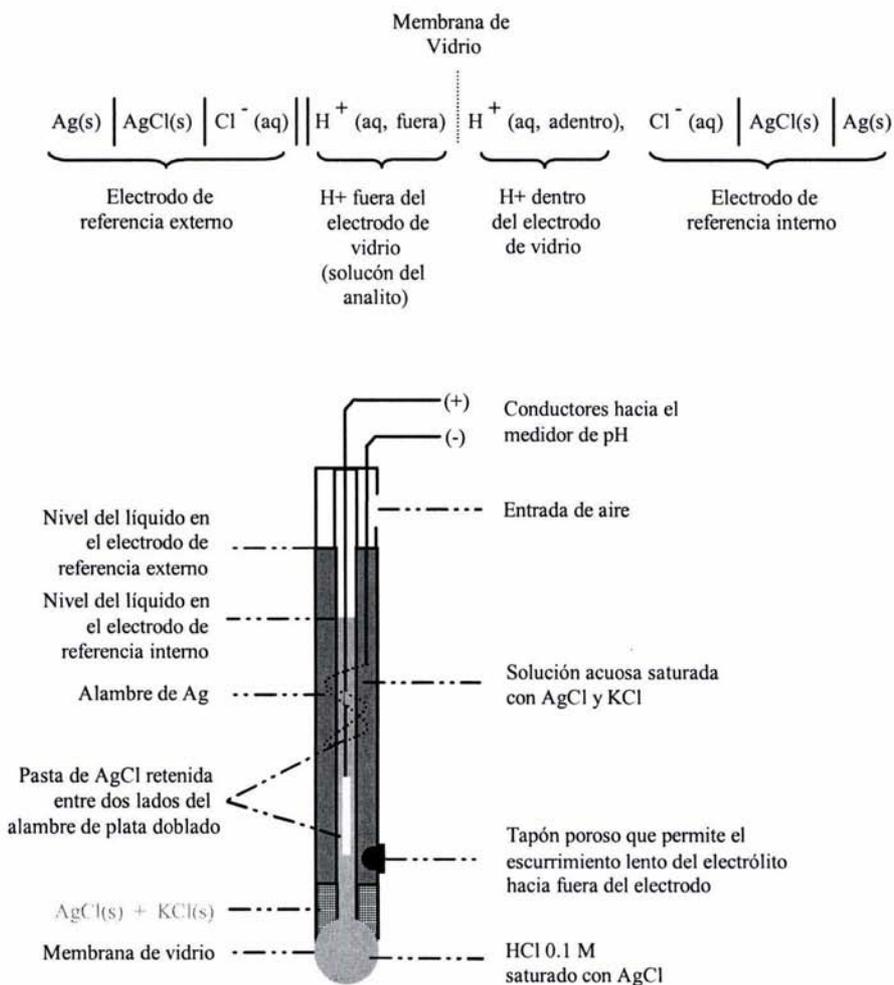


Figura 2-2

Representación esquemática de un electrodo combinado de vidrio con electrodo de referencia de plata-cloruro de plata. El electrodo de vidrio se sumerge en una solución de pH desconocido hasta una profundidad tal que el tapón poroso, situado en la parte inferior derecha, se encuentra por debajo del nivel del líquido. Los dos electrodos de plata permiten medir la diferencia de potencial entre las caras de la membrana de vidrio.

La parte del electrodo que responde a las variaciones de pH es la delgada membrana de vidrio de construcción especial, ubicada en el extremo del dispositivo.

La membrana de vidrio en vez de funcionar como membrana porosa, lo hace como una superficie *intercambiadora de iones* hacia ambos lados del vidrio, es decir, intercambia iones hacia dentro de la media celda (donde normalmente se encuentra un sistema Ag-AgCl en una solución de KCl o HCl 0.1 M), pero también hacia fuera de la media celda en donde se encuentra la solución a investigar. Entre las dos caras de la pared de vidrio se establece un potencial, conocido como *potencial de asimetría*, cuyo valor permanece constante y se incluye en el potencial standard del electrodo. Los iones intercambiados en el vidrio son iones hidrógeno pero también hay un intercambio de cationes (comúnmente Na^+ y K^+)

Mantenimiento⁶.

Almacenamiento

- ♦ Los electrodos de pH siempre se deben guardar en un medio acuoso, nunca en seco.
- ♦ Electrodos de pH combinados: En el electrolito de referencia.
- ♦ Electrodos de pH separado: En agua destilada.

Limpieza del Diafragma

- ♦ Contaminantes Orgánicos: Se sumerge el electrodo en mezcla crómica a 80 °C durante 5 minutos y después se lava con agua destilada.

- ◆ Después de medidas en disoluciones que contienen sulfuros, el diafragma suele tener un color negruzco, debido al precipitado de Ag_2S . Para limpiarlo, se sumerge el electrodo durante varias horas en una disolución ligeramente ácida del 7% de tiourea, y se lava muy bien con agua.
- ◆ Después de medidas en disoluciones con baja concentración de Cl^- , el diafragma suele tener un color marrón debido al AgCl precipitado. Para limpiarlo, se introduce el electrodo por encima del diafragma en NH_3 concentrado y se dejó toda la noche; al día siguiente se enjuaga bien con agua destilada, se renueva el electrolito de referencia y se reacondiciona durante una hora en el tampón de $\text{pH} = 4$.
- ◆ Si no se ha logrado limpiar bien el diafragma, puede quitarse la capa externa del diafragma con una lima muy fina, con mucho cuidado para no despegar el diafragma del cuerpo del electrodo.

Cuidado de la Membrana de Vidrio

- ◆ Después de medidas en disoluciones no acuosas, sumergir el electrodo en agua destilada entre medidas.
- ◆ Después de medidas en medios que contienen proteínas, sumergir el electrodo varias horas en una disolución de pepsina (5% de pepsina en HCl 0.1 M) y lavar con H_2O .

Regeneración de la Membrana de Vidrio

- ◆ Sumergir la membrana de vidrio durante un minuto en una disolución de NH_4HF_2 al 10% ó unos segundos en HF al 40%. Después enjuagar durante 10 segundos en una disolución de HCl

: H₂O (1:1). Lavar con agua destilada y mantener el electrodo durante 24 horas en KCl 3 M.

Desventajas.

- ♦ No existen electrodos de vidrio insensibles al sodio.
- ♦ Naturalmente la utilización de un electrodo de vidrio en soluciones que reaccionan con vidrio significará que las propiedades del vidrio sensible cambien y, por lo tanto, que el potencial generado no refleje el pH después de un tiempo de utilización. Tal es el caso de la medición de pH de soluciones de ácido fluorhídrico.
- ♦ Similarmente, la temperatura debe ser considerada con cierto cuidado, ya que los electrodos de vidrio no dan respuesta a más de 60°C
- ♦ Este tipo de electrodos no dan respuesta si se pretende tomar una medición con el electrodo hacia arriba.
- ♦ Ofrecen una baja resistencia mecánica.
- ♦ Por cuestiones físicas en el diseño de los electrodos de vidrio comerciales, estos no pueden ser usados en recipientes de baja capacidad volumétrica.
- ♦ Presentan errores en pH's extremos (muy básicos o muy ácidos)

ELECTRODOS REDOX

El potencial redox es una medida de la fuerza de oxidación ó reducción de un sistema redox.

El potencial redox es medido generalmente con conductores electrónicos, en forma de metales nobles (Pt, Au), o electrodos de carbón. Estos electrodos no son totalmente independientes de las influencias de otros iones, así el electrodo de Au da una respuesta frente a los ciano y cloro complejos formados con el Au⁺.



El potencial redox del sistema anterior está fuertemente influenciado por el valor de pH. Incluso para sistemas redox en los que no aparece de forma directa la influencia de los protones H⁺, el potencial redox también puede variar en función del pH por cambios de especie, formación de hidróxidos, acción de complejantes ó precipitantes.

Control de los electrodos redox⁵

Cuando el electrodo responde correctamente, no es necesaria la calibración. Sin embargo, los electrodos de metales nobles pueden dar indicaciones de potenciales falsos, que son dependientes de su historia, y también puede que el potencial del electrodo de referencia, si es combinado sea erróneo.

Por ésta razón es conveniente de vez en cuando calibrar los potenciales que miden los electrodos redox, para lo cual se necesitan

disoluciones con un valor de potencial redox definido. Existen dos métodos de evaluar los electrodos redox:

a.- Con una disolución redox standard preparada para su uso frente a un electrodo de referencia de Ag / AgCl, KCl (3M):

t °C	10	20	25	30	40	50	60
E (mV) mV	+ 265	+ 250	+ 243	+ 236	+ 221	+ 207	+ 183
PH	7.06	7.02	7.00	6.99	6.98	6.97	6.97

Tabla 2.2 1 g / l $K_2Cr_2O_7$ en una disolución de pH = 7.00 (25 °C)

b.- Con una disolución de quinhidrona (QH₂) en un medio tamponado ácido ó neutro (no alcalino), la cual tiene un potencial redox bien definido.

Calibración de Electrodos Redox :

Se toman dos disoluciones tampón pH 4 y 7 y se les añade quinhidrona (p.a), con agitación hasta saturación. Debe observarse un exceso de quinhidrona, aproximadamente 0.5 gramos de quinhidrona en 50 ml de tampón.

La pareja de electrodos a evaluar se sumergen en las disoluciones tampón con la quinhidrona. Los potenciales de los electrodos de Platino y Oro en perfectas condiciones serían las siguientes:

t (°C)	E° _{QH} (mV)
5	+ 714.3
10	+ 710.7
15	+ 707.0
20	+ 703.4
25	+ 699.7
30	+ 696.0

Tabla 2.3 $E_{WE} = E_{QH}^{\circ} - 0.1984575 \cdot (273.16 + t) \cdot \text{pH}$

Los potenciales de la pareja de electrodos (electrodo metal noble / electrodo de referencia) son a 20 °C:

PH	$E = E_{WE} - E_{ER}$	
	$E_{SCE} (20^{\circ}\text{C})$	$E_{Ag/AgCl} (20^{\circ}\text{C})$
3.99	223,1	259,3
7.02	47,3	83,5

Tabla 2.4 Potenciales de los electrodos de Platino y Oro a 20 °C

Los valores medidos pueden variar en ocasiones unos pocos milivoltios debido a cambios en el potencial de difusión del electrodo de referencia y a la calidad de la quinhidrona utilizada.

Mantenimiento de los Electroodos Redox

Si el electrodo de referencia está en perfectas condiciones y se obtienen potenciales erróneos, quiere decir que el electrodo de metal está contaminado ó pasivado (formación de óxidos sobre la superficie metálica) y se debe proceder a su limpieza según el instructivo del electrodo.

Existen tres soluciones:

a.- Sumergir el electrodo en la disolución de pH 4 saturada con quinhidrona (+ 470.8 mV) durante unas horas y lavar con agua.

b.- Otra solución consiste en conectar el electrodo al polo negativo de una fuente de corriente eléctrica (batería). El polo positivo a un contraelectrodo inerte, y se realiza una electrolisis durante 3 minutos en ácido sulfúrico diluido, aplicando una corriente de 10 mA.

c.- Si la superficie del metal está sucia se puede limpiar con polvos abrasivos y después con H₂O. Incluso, si el electrodo es de barra y se puede separar del cuerpo del electrodo, se podrá calentar en la llama hasta el rojo vivo.

*Selección del tipo de Electrodo Redox*⁵

- ♦ Los electrodos de Pt son los más utilizados.
- ♦ Los electrodos de Au pueden ser de mejor elección frente a Pt en medidas ó valoraciones redox que transcurran a pH alcalino.
- ♦ La forma del electrodo también es muy importante. Si la muestra es muy heterogénea (precipitados) ó si la superficie del electrodo

puede estar sujeta a una pasivación fuerte durante el análisis, son mejor los electrodos en forma de dedal frente a los de hilo.

- ♦ Los electrodos de barra sólida tienen una vida muy grande. Estos pueden limpiarse a la llama. Son seleccionados para medir en disoluciones corrosivas ó altamente contaminadas.

2.4 PROCESO DE ELECTROPULIDO⁷

El electropulido es un tratamiento superficial mediante el cual el metal a ser pulido actúa como ánodo en una celda electrolítica, disolviéndose parcialmente en la superficie para eliminar las sinuosidades. Con la aplicación de corriente, se forma una película polarizada en la superficie metálica bajo tratamiento, permitiendo a los iones metálicos difundirse a través de dicha película. Las micro y macro proyecciones, o puntos altos de la superficie rugosa, lo mismo que zonas con rebabas, son áreas de mayor densidad de corriente que el resto de la superficie, y se disuelven a mayor velocidad, dando lugar a una superficie más lisa. Simultáneamente, y bajo condiciones controladas de intensidad de corriente y temperatura, tiene lugar un abrillantamiento de la superficie. En aleaciones, como el acero inoxidable, se tiene además la ventaja adicional que, al ser el hierro un metal que se disuelve fácilmente, se incrementa el contenido de cromo y níquel en la superficie, aumentando así la resistencia a la corrosión.

En una escala macroscópica, el contorno de una superficie maquinada se puede considerar como una serie de picos y valles. La profundidad de los

mismos y la distancia entre los picos dependen de los métodos utilizados para producir la superficie.

En una escala microscópica, la superficie es aún más compleja, con pequeñas irregularidades sobrepuestas a los picos y valles. Con el fin de producir una superficie verdaderamente lisa, ambos tipos de irregularidades (macroscópicas y microscópicas) deben ser eliminadas.

Así, las funciones de un proceso de pulido ideal se pueden distinguir como:

- a) *Alisado*: eliminación de las irregularidades a gran escala (tamaño superior a 1 micra).
- b) *Abrillantado*: remoción de pequeñas irregularidades de un tamaño inferior a centésimas de micra.

COMPARACIÓN ENTRE PULIDO MECÁNICO Y ELECTROLÍTICO

1) Pulido Mecánico

La preparación mecánica de las superficies se puede dividir convenientemente en dos etapas:

- 1) *Esmerilado*; usando técnicas abrasivas para producir una superficie razonablemente lisa y plana.-
- 2) *Pulido*; usando abrasivos finos sobre poleas para dar una superficie lisa y brillante.

Se han realizado considerables esfuerzos para investigar la estructura de las superficies metálicas preparadas por estos métodos, y se ha establecido perfectamente que conducen a obtener una zona severamente deformada

cercana a la superficie. Esta zona tiene propiedades diferentes a las del metal de base y se produce fundamentalmente por un proceso de fluencia; esto es; bajo la intensa acción mecánica del pulido, el material de los picos es obligado a fluir para rellenar los valles. Esta capa superficial recibe usualmente el nombre de "capa de Bielby", en honor a su descubridor, y tiene un espesor de varios micrones, espesor que se incrementa con la intensidad del pulido. La estructura resultante es prácticamente amorfa y contiene inclusiones de óxidos del metal de base y compuestos utilizados en las pastas de pulir.

Se comprende entonces que las propiedades físico-químicas de la capa superficial obtenida por pulido mecánico son distintas a las del metal subyacente, originando tensiones mecánicas que, en determinadas condiciones, pueden dar lugar a procesos de corrosión.

II) Electropulido

El electropulido (o pulido electroquímico, o pulido electrolítico) funciona básicamente debido que, al disolverse el metal bajo la circulación de corriente, se forma una capa viscosa de productos de la disolución, la cual se va difundiendo lentamente en el baño electrolítico.

El espesor de esta capa no es constante, siendo mayor en los valles; y como su resistencia eléctrica es superior a la de la solución de electropulido, conduce a una disolución preferencial de los picos, y a una nivelación de la superficie.

En la fig. 2.3 (a) se puede apreciar el esquema de un corte transversal (a escala microscópica) de la superficie al comienzo del procedimiento, y en la (b) cómo después de un tiempo de tratamiento la superficie se ha disuelto y comienza a "nivelarse".-

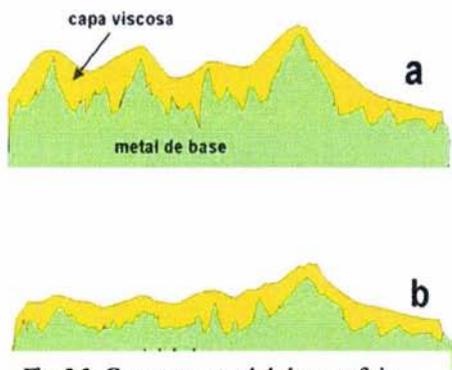


Fig 2.3 Corte transversal de la superficie

En este proceso no se forma una capa superficial como en el caso del pulido mecánico, ya que lo que se disuelve es el metal de base.

El espesor de material disuelto varía entre 10 y 25 micrones, de acuerdo con la intensidad de corriente utilizada y el tiempo de exposición.

En la fig. 2.4(a) se puede apreciar una microfotografía de una superficie tratada con esmeril 180, aumentada 50 veces. En la (b), la misma superficie, después de electropulida. Se ve claramente la acción niveladora descrita en el esquema de la fig. 2.3

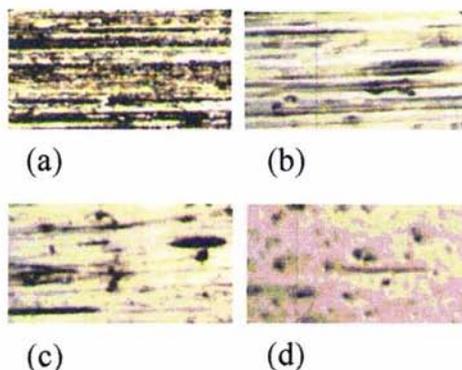


Fig. 2.4 Microfotografías de la Superficie

La fig. (c) es una microfotografía, con un aumento de 50 veces, de una superficie especular obtenida mediante un tratamiento mecánico con cepillo y pasta de pulir. Se aprecian claramente las pequeñas cavidades y rayas con bordes agudos, que dificultarán posteriormente las acciones de limpieza. En cambio, en la fig. (d), la misma superficie electropulida muestra la ausencia de huecos con bordes definidos. En este tipo de terminación no podrán alojarse materiales extraños.

Por lo tanto, una superficie plana electropulida, aunque brillante, no tendrá el aspecto especular del pulido mecánico. Sin embargo, a nivel microscópico y sanitario, es mejor, y el usuario deberá comprender que una superficie similar a la de un espejo, no necesariamente implica que a nivel microscópico esté libre de imperfecciones que pueden alojar colonias de microorganismos y/o iniciar procesos de corrosión localizada.

Este proceso de electropulido también le ofrece la capacidad al acero de poder ser usado como un electrodo indicador para medición de pH y potencial químico.

**ESTUDIO DE LA RESPUESTA AL pH DEL ELECTRODO DE ACERO
INOXIDABLE 316 CON ELECTROPULIDO**

CAPITULO III
DESARROLLO
EXPERIMENTAL

3.1 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A continuación se presenta la metodología experimental dividida en 3 etapas:

- 3.1.1 Elaboración de los Electrodo Electropulidos A, B, C, D y E.
- 3.1.2 Evaluación de los Electrodo Electropulidos A, B, C, D y E.
- 3.1.3 Evaluación del cumplimiento de la ley de Nernst para el electrodo de acero 316 electropulido mediante la valoración de Acido Fosfórico con Hidróxido de Sodio.

Cada una de estas es detallada a continuación

3.1.1 ELABORACIÓN DE LOS ELECTRODOS ELECTROPULIDOS¹.

Se elaboran 5 electrodos de acero electropulido que se nombran como A, B, C, D y E respectivamente.

Se corta una pieza de acero inoxidable 316 (17% Cr, 12% Ni, 2.5% Mo, 68.5% Fe) con una longitud de 10 cm y un diámetro de 0.6cm aproximadamente. Esta pieza se somete a un proceso de electropulido.

Electropulido.

1. Se prepara 100 ml de solución electrolítica, la cual contiene:
 - a. 65% en ml de Ácido Fosfórico de 96.13% de pureza.
 - b. 15% en ml de Ácido Sulfúrico de 99.15% de pureza.
 - c. 6% en ml de Trióxido de Cromo.
 - d. 14% en ml de Agua Destilada.



Fig. 3.1 Proceso de electropulido:
 1 fuente de voltaje, 2 agitador magnético
 3 lauda, 4 solución electrolítica

2. La solución electrolítica se deja en agitación durante 15 min y se controla la temperatura de la misma a 70 °C con un baño LAUDA.

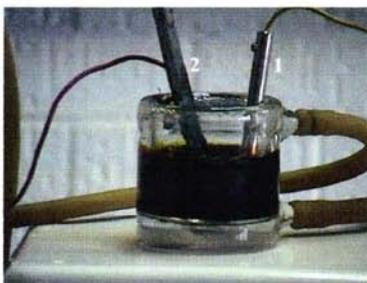


Fig. 3.2 Acercamiento de la figura (a) a la solución electrolítica:
 1 barra de acero 2 barra de plomo

3. Una vez alcanzadas estas condiciones, se introduce una barra de acero inoxidable 316 como cátodo así como una barra de plomo como ánodo.

4. Se conectan a la fuente de poder y se aplica una corriente eléctrica de 4 amperes durante 10 min.

5. El cátodo será el electrodo A.
6. Se repite el procedimiento para obtener los 5 electrodos.

Fig. 3.3 Resultados del proceso de Electropulido, el lado izquierdo de la imagen muestra la parte con acabado espejo (electropulido)



3.1.2 EVALUACIÓN DE LOS ELECTRODOS ELECTROPULIDOS A, B, C, D y E.

1. Se calibra el potenciómetro marca Corning model7.
2. Se colocan las soluciones comerciales buffer de pH 2, 4, 7, 10 y 13 en vasos de precipitados de 50 ml.
3. Se mide el $pH_{\text{experimental}}$ con el electrodo de vidrio y el potencial con el electrodo A a cada una de las soluciones en el siguiente orden 2, 4, 7, 10 y 13.
4. Se mide el $pH_{\text{experimental}}$ con el electrodo de vidrio y el potencial con el electrodo A a cada una de las soluciones en el siguiente orden 13, 10, 7, 4 y 2.
5. Se repiten los pasos 3 y 4 midiendo el $pH_{\text{experimental}}$ y el potencial con el electrodo de vidrio.
6. Los pasos anteriores se repetirán 3 veces por semana (cada 48 hrs) durante 3 semanas.

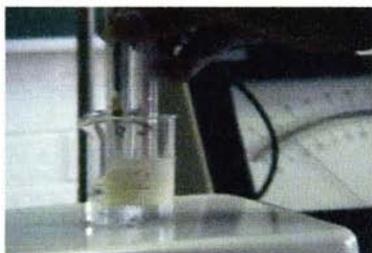


Fig. 3.4 Se calibra el potenciómetro haciendo uso del electrodo de calomel y el electrodo de vidrio.



Fig. 3.5 Se mide el potencial con el electrodo C a la solución de $\text{pH}_{\text{teórico}} = 2$.



Fig. 3.6 Se colocan las soluciones buffer 2, 4, 7, 10 y 13 en vasos de precipitados de 50 ml.

Estos 6 pasos se aplican de manera individual al electrodo A, B, C, D y E. Los electrodos D y E se evalúan estando sumergidos en una solución de Hidróxido de Sodio 0.1 M entre cada una de las mediciones.

3.1.3 EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA LEY DE NERNST PARA EL ELECTRODO DE ACERO 316 ELECTROPULIDO MEDIANTE LA VALORACIÓN DE 15 ML DE ACIDO FOSFÓRICO [$10^{-2}M$] CON HIDRÓXIDO DE SODIO [$3 \cdot 10^{-2}M$] UTILIZANDO EL ELECTRODO DE ACERO 316 ELECTROPULIDO COMO ELECTRODO INDICADOR.

La valoración se hace mediante el montaje de la figura 3.7

- *Primera Toma de Mediciones.*

1. Se toman las mediciones de pH en los pHmetros (I y II; el I reporta los valores del electrodo comercial, mientras que el II reporta los valores del electrodo de acero inoxidable) con un volumen de titulante igual a cero, es decir, se mide el pH de la sustancia a titular pura.

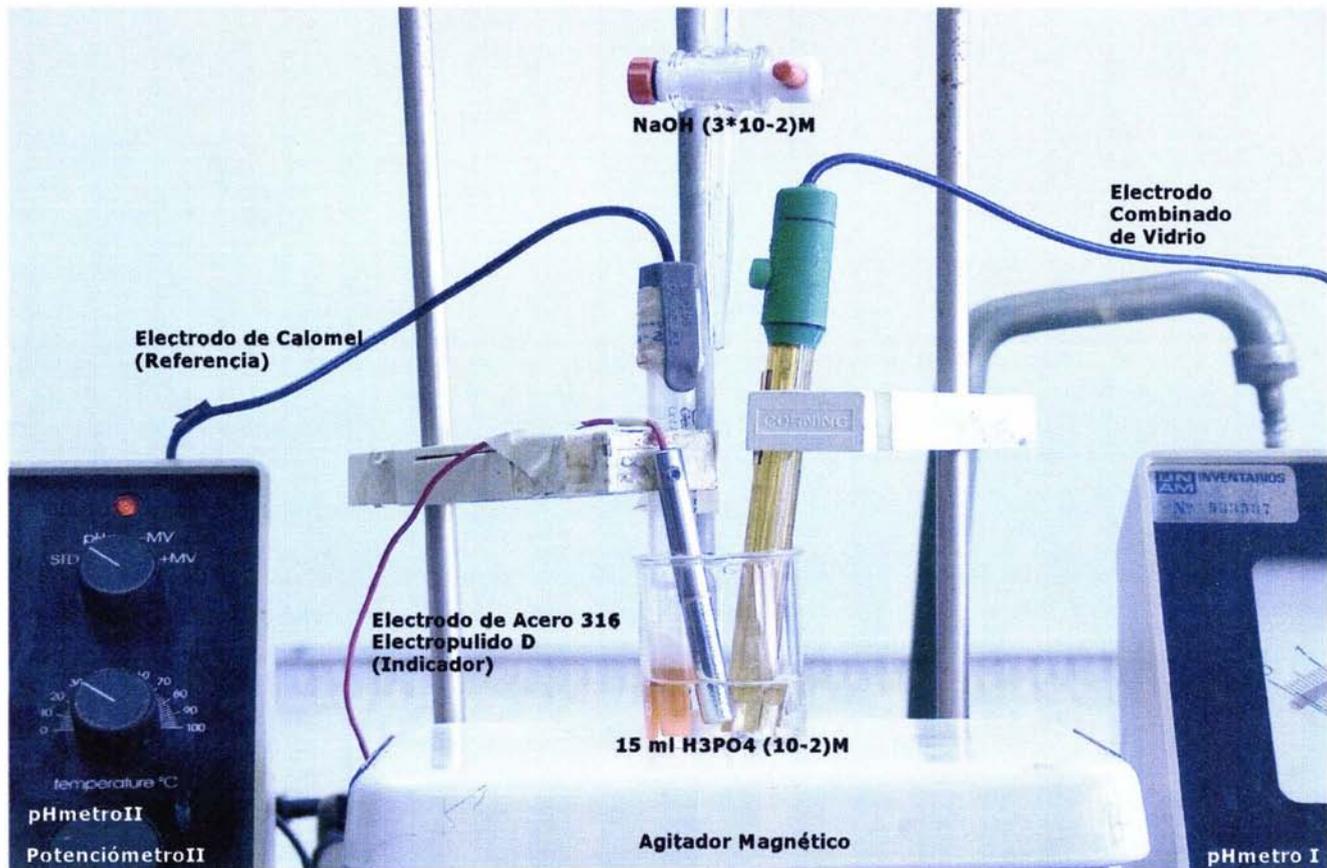


Fig. 3.7 Montaje de la “Valoración de 15 ml de ácido fosfórico (10^{-2} M) con hidróxido de sodio ($3 \cdot 10^{-2}$ M)”. Utilizando el electrodo de acero 316 electropulido como electrodo indicador

2. Se vierte una cantidad de 0.2 a 1 ml de la solución titulante a la solución titulada.
 3. Posteriormente se toma el nuevo valor de pH en los pHmetros.
 4. Se repiten los pasos 2 y 3 hasta observar una variación de pH considerable, es decir, cuando se alcanza el punto de equivalencia.
 5. Repetir los pasos 2 y 3 (5 veces).
- *Segunda Toma de Mediciones.*
 1. Se toman la mediciones de pH en el pHmetro I y potencial en el potenciómetro II con un volumen de titulante igual a cero.
 2. Se vierte una cantidad de 0.2 a 1 ml de la solución titulante a la solución titulada.
 3. Posteriormente se toma el nuevo valor de pH y potencial respectivamente.
 4. Se repiten los pasos 2 y 3 hasta observar una variación de pH y potencial considerable, es decir, cuando se alcanza el punto de equivalencia.
 5. Repetir los pasos 2 y 3 (5 veces).

**ESTUDIO DE LA RESPUESTA AL pH DEL ELECTRODO DE ACERO
INOXIDABLE 316 CON ELECTROPULIDO**

CAPITULO IV
RESULTADOS Y
ANALISIS DE
RESULTADOS

4.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo se muestran los resultados a manera de tablas o gráficas obtenidas en la evaluación de los electrodos de Acero 316 Electropulido. Con fines de facilidad de consulta, los resultados que obedecen a un tiempo de 432 hrs serán divididos en tres periodos:

Primer período	0-96 hrs.
Segundo período	168-264 hrs.
Tercer período	336-432 hrs.

La primera tabla muestra los resultados del electrodo "A", para un rango de pH teórico de 2 a 13 (soluciones buffer). Las mediciones de pH a las soluciones buffer se hicieron con el electrodo de vidrio, por último, se tomó la medida del potencial a estas soluciones con el electrodo de acero electropulido. Cada electrodo en estudio cuenta con una tabla correspondiente.

Los resultados presentados a continuación corresponden a la primer medición; tiempo igual acero.

Tiempo: 0 hrs (tablas)

Electrodo	pH (teórico)	pH (vidrio)	E (A) V	E(A) vs pH (vidrio)	
A	2	2.5	0.2	Pendiente	-0.0665
	4	4.5	0.06	Or. al origen	0.3606
	7	7.1	-0.12	Correlación	0.9996
	10	9.8	-0.29		
	13	12.4	-0.46		
	13	12.65	-0.46	Pendiente	-0.0623
	10	10	-0.25	Or. al origen	0.345
	7	7	-0.095	Correlación	0.9956
	4	4.4	0.065		
	2	2.65	0.18		

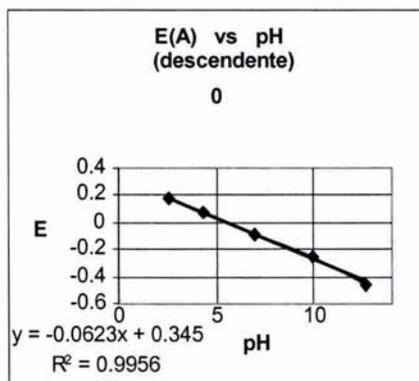
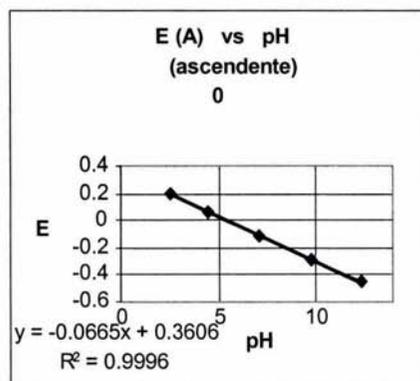
Electrodo	pH (teórico)	pH (vidrio)	E (A) V	E(A) vs pH (vidrio)	
B	2	2.6	0.21	Pendiente	-0.0644
	4	4.5	0.06	Or. al origen	0.3618
	7	7.2	-0.11	Correlación	0.9980
	10	9.9	-0.28		
	13	12.9	-0.46		
	13	12.8	-0.44	Pendiente	-0.0605
	10	10.2	-0.28	Or. al origen	0.3336
	7	7.3	-0.11	Correlación	0.999
	4	4.5	0.05		
	2	2.7	0.18		

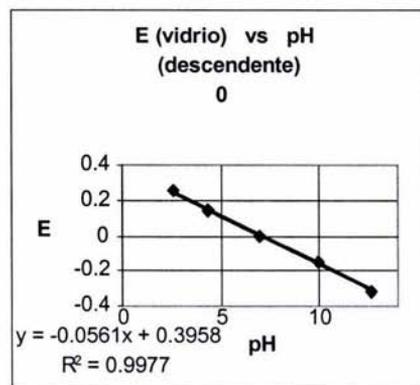
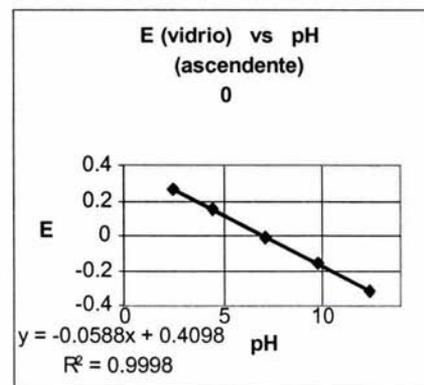
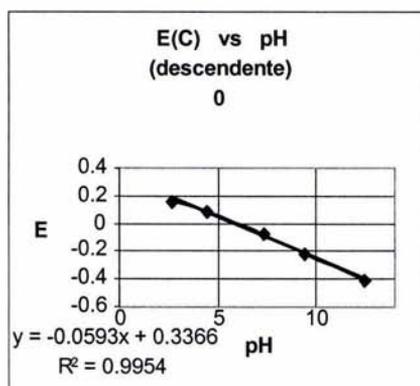
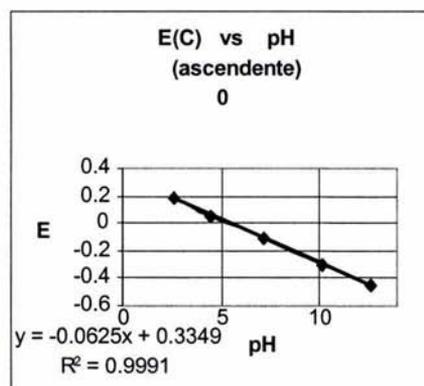
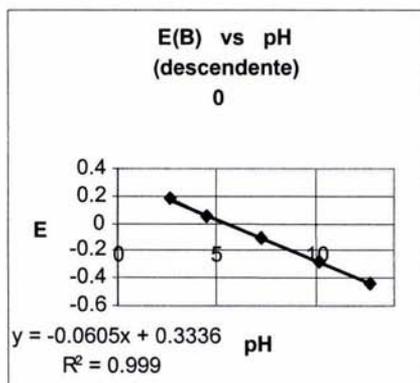
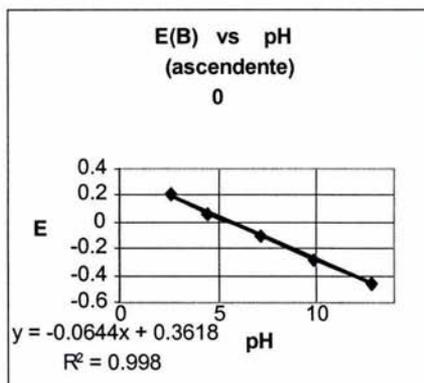
Electrodo	pH (teórico)	pH (vidrio)	E (A) V	E(A) vs pH (vidrio)	
C	2	2.6	0.18	Pendiente	-0.0625
	4	4.5	0.05	Or. al origen	0.3349
	7	7.2	-0.12	Correlación	0.9991
	10	10.2	-0.31		
	13	12.7	-0.45		
	13	12.5	-0.41	Pendiente	-0.0593
	10	9.4	-0.23	Or. al origen	0.3366
	7	7.4	-0.08	Correlación	0.9954
	4	4.5	0.08		
	2	2.7	0.16		

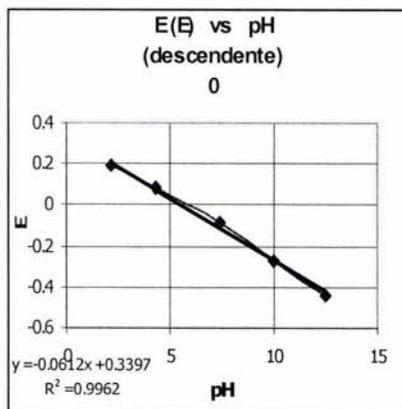
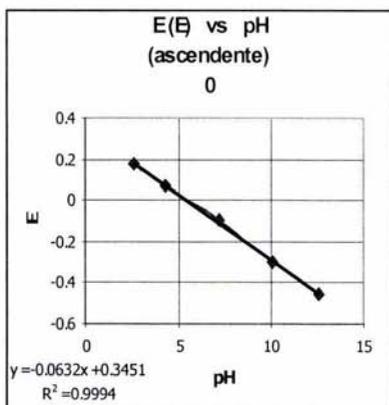
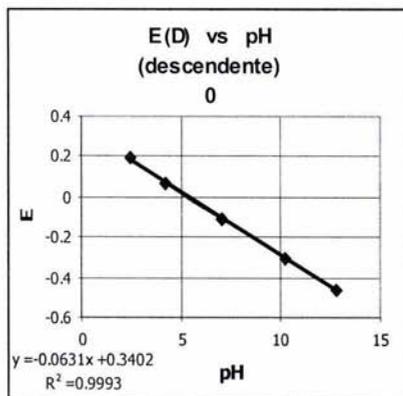
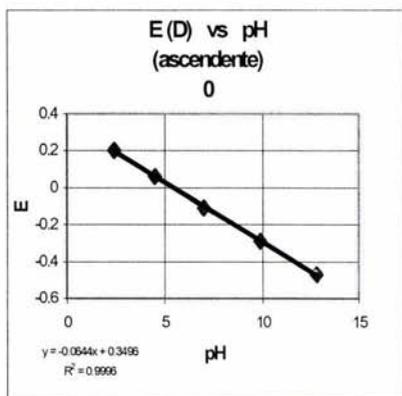
Electrodo	pH (teórico)	pH (vidrio)	E (A) V	E(A) vs pH (vidrio)	
Vidrio	2	2.5	0.26	Pendient10	
	4	4.5	0.15	0e	-0.0588
	7	7.1	-0.01	Or. al origen	0.4098
	10	9.8	-0.165	Correlación	0.9998
	13	12.4	-0.32		
	13	12.65	-0.32	Pendiente	-0.0561
	10	10	-0.15	Or. al origen	0.3958
	7	7	-0.005	Correlación	0.9977
	4	4.4	0.14		
	2	2.65	0.255		

Electrodo	pH (teórico)	pH (vidrio)	E (A) V	E(A) vs pH (vidrio)	
D	2	2.4	0.2	Pendiente	-0.0644
	4	4.5	0.06	Or. al origen	0.3496
	7	7	-0.11	Correlación	0.9996
	10	9.9	-0.29		
	13	12.8	-0.47		
	13	12.8	-0.46	Pendiente	-0.0631
	10	10.2	-0.31	Or. al origen	0.3402
	7	7.1	-0.11	Correlación	0.9993
	4	4.2	0.07		
	2	2.5	0.19		

Electrodo	pH (teórico)	pH (vidrio)	E (A) V	E(A) vs pH (vidrio)	
E	2	2.6	0.18	Pendiente	-0.0632
	4	4.3	0.07	Or. al origen	0.3451
	7	7.2	-0.1	Correlación	0.9994
	10	10.1	-0.3		
	13	12.6	-0.45		
	13	12.5	-0.44	Pendiente	-0.0612
	10	10	-0.27	Or. al origen	0.3397
	7	7.4	-0.09	Correlación	0.9962
	4	4.3	0.08		
	2	2.2	0.19		







Las siguientes tablas son una recopilación de las pendientes, ordenadas al origen, correlaciones y promedios de cada uno de estos datos por electrodo para el primer período de tiempo 0-96 hrs.

Electrodo A						
Ascendente "0 hr"		Ascendente "48 hrs"		Ascendente "96 hrs"		
E(A) vs pH (vidrio)		E(A) vs pH (vidrio)		E(A) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0665	Pendiente	-0.0755	Pendiente	-0.0657	Pendiente -0.06923333
Or. al origen	0.3606	Or. al origen	0.3968	Or. al origen	0.3269	Or. al origen 0.36143333
Correlación	0.9996	Correlación	0.9887	Correlación	0.9875	Correlación 0.99193333
Descendente "0 hrs"		Descendente "48 hrs"		Descendente "96 hrs"		
E(A) vs pH (vidrio)		E(A) vs pH (vidrio)		E(A) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0623	Pendiente	-0.0746	Pendiente	-0.0604	Pendiente -0.06576667
Or. al origen	0.345	Or. al origen	0.4106	Or. al origen	0.3019	Or. al origen 0.3525
Correlación	0.9956	Correlación	0.9969	Correlación	0.9998	Correlación 0.99743333

Electrodo B						
Ascendente "0 hr"		Ascendente "48 hrs"		Ascendente "96 hrs"		
E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0644	Pendiente	-0.0628	Pendiente	-0.0652	Pendiente -0.06413333
Or. al origen	0.3618	Or. al origen	0.3578	Or. al origen	0.3349	Or. al origen 0.3515
Correlación	0.9980	Correlación	0.9918	Correlación	0.9997	Correlación 0.9965
Descendente "0 hrs"		Descendente "48 hrs"		Descendente "96 hrs"		
E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0605	Pendiente	-0.0578	Pendiente	-0.058	Pendiente -0.05876667
Or. al origen	0.3336	Or. al origen	0.3618	Or. al origen	0.2732	Or. al origen 0.32286667
Correlación	0.999	Correlación	0.9971	Correlación	0.9928	Correlación 0.9963

Electrodo C						
Ascendente "0 hr"		Ascendente "48 hrs"		Ascendente "96 hrs"		
E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0625	Pendiente	-0.0734	Pendiente	-0.0599	Pendiente -0.06526667
Or. al origen	0.3349	Or. al origen	0.4031	Or. al origen	0.2852	Or. al origen 0.34106667
Correlación	0.9991	Correlación	0.9972	Correlación	0.9967	Correlación 0.99766667
Descendente "0 hrs"		Descendente "48 hrs"		Descendente "96 hrs"		
E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0593	Pendiente	-0.0661	Pendiente	-0.059	Pendiente -0.06146667
Or. al origen	0.3366	Or. al origen	0.3596	Or. al origen	0.2895	Or. al origen 0.32856667
Correlación	0.9954	Correlación	0.9951	Correlación	0.9992	Correlación 0.99656667

Electrodo de Vidrio						
Ascendente "0 hr"		Ascendente "48 hrs"		Ascendente "96 hrs"		
E(vid) vs pH (vidrio)		E(vid) vs pH (vidrio)		E(vid) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0588	Pendiente	-0.0627	Pendiente	-0.0583	Pendiente -0.05993333
Or. al origen	0.4098	Or. al origen	0.4377	Or. al origen	0.4087	Or. al origen 0.41873333
Correlación	0.9998	Correlación	0.9977	Correlación	0.9998	Correlación 0.9991
Descendente "0 hrs"		Descendente "48 hrs"		Descendente "96 hrs"		
E(vid) vs pH (vidrio)		E(vid) vs pH (vidrio)		E(vid) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0561	Pendiente	-0.0617	Pendiente	-0.0579	Pendiente -0.05856667
Or. al origen	0.3958	Or. al origen	0.4229	Or. al origen	0.4056	Or. al origen 0.4081
Correlación	0.9977	Correlación	0.9964	Correlación	0.9998	Correlación 0.99796667

Electrodo D						
Ascendente "0 hr"		Ascendente "48 hrs"		Ascendente "96 hrs"		
E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0644	Pendiente	-0.0635	Pendiente	-0.0645	Pendiente -0.06286667
Or. al origen	0.3496	Or. al origen	0.3457	Or. al origen	0.3542	Or. al origen 0.32663333
Correlación	0.9996	Correlación	0.9995	Correlación	0.9985	Correlación 0.99926667
Descendente "0 hrs"		Descendente "48 hrs"		Descendente "96 hrs"		
E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0631	Pendiente	-0.0618	Pendiente	-0.0645	Pendiente -0.06313333
Or. al origen	0.3402	Or. al origen	0.3362	Or. al origen	0.3542	Or. al origen 0.34353333
Correlación	0.9993	Correlación	0.9989	Correlación	0.9985	Correlación 0.9989

Electrodo E						
Ascendente "0 hr"		Ascendente "48 hrs"		Ascendente "96 hrs"		
E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0632	Pendiente	-0.0619	Pendiente	-0.0611	Pendiente -0.06206667
Or. al origen	0.3451	Or. al origen	0.3365	Or. al origen	0.3261	Or. al origen 0.3359
Correlación	0.9994	Correlación	0.9991	Correlación	0.9983	Correlación 0.99893333
Descendente "0 hrs"		Descendente "48 hrs"		Descendente "96 hrs"		
E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0612	Pendiente	-0.0633	Pendiente	-0.0636	Pendiente -0.0627
Or. al origen	0.3397	Or. al origen	0.3377	Or. al origen	0.3502	Or. al origen 0.34253333
Correlación	0.9962	Correlación	0.9974	Correlación	0.9996	Correlación 0.99773333

A continuación se muestran los resultados correspondientes al segundo periodo de tiempo, es decir, de 168-264 hrs para cada electrodo usando el mismo formato de las tablas anteriores.

Electrodo A						
Ascendente "168 hr"		Ascendente "216 hrs"		Ascendente "264 hrs"		
E(A) vs pH (vidrio)		E(A) vs pH (vidrio)		E(A) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0534	Pendiente	-0.0624	Pendiente	-0.0604	Pendiente -0.05873333
Or. al origen	0.2462	Or. al origen	0.3165	Or. al origen	0.3261	Or. al origen 0.29626667
Correlación	0.9991	Correlación	0.9981	Correlación	0.9845	Correlación 0.9939
Descendente "168 hrs"		Descendente "216 hrs"		Descendente "264 hrs"		
E(A) vs pH (vidrio)		E(A) vs pH (vidrio)		E(A) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0578	Pendiente	-0.0586	Pendiente	-0.0597	Pendiente -0.0587
Or. al origen	0.2736	Or. al origen	0.2678	Or. al origen	0.3637	Or. al origen 0.3017
Correlación	0.9913	Correlación	0.9978	Correlación	0.9972	Correlación 0.99543333

Electrodo B						
Ascendente "168 hr"		Ascendente "216 hrs"		Ascendente "264 hrs"		
E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0612	Pendiente	-0.0555	Pendiente	-0.0607	Pendiente -0.05913333
Or. al origen	0.3151	Or. al origen	0.2583	Or. al origen	0.3691	Or. al origen 0.31416667
Correlación	0.9946	Correlación	0.9913	Correlación	0.9957	Correlación 0.99386667
Descendente "168 hrs"		Descendente "216 hrs"		Descendente "264 hrs"		
E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0562	Pendiente	-0.0539	Pendiente	-0.0584	Pendiente -0.05616667
Or. al origen	0.2834	Or. al origen	0.2381	Or. al origen	0.3534	Or. al origen 0.29163333
Correlación	0.9975	Correlación	0.9832	Correlación	0.9921	Correlación 0.99093333

Electrodo C						
Ascendente "168 hr"		Ascendente "216 hrs"		Ascendente "264 hrs"		
E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.061	Pendiente	-0.0646	Pendiente	-0.0539	Pendiente -0.05983333
Or. al origen	0.2888	Or. al origen	0.3703	Or. al origen	0.2463	Or. al origen 0.3018
Correlación	0.9944	Correlación	0.9970	Correlación	0.9895	Correlación 0.99363333
Descendente "168 hrs"		Descendente "216 hrs"		Descendente "264 hrs"		
E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0563	Pendiente	-0.0548	Pendiente	-0.053	Pendiente -0.0547
Or. al origen	0.2856	Or. al origen	0.2466	Or. al origen	0.2713	Or. al origen 0.26783333
Correlación	0.9998	Correlación	0.9988	Correlación	0.9997	Correlación 0.99943333

Electrodo de Vidrio						
Ascendente "168 hr"		Ascendente "216 hrs"		Ascendente "264 hrs"		
E(vid) vs pH (vidrio)		E(vid) vs pH (vidrio)		E(vid) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0551	Pendiente	-0.0627	Pendiente	-0.0585	Pendiente -0.05876667
Or. al origen	0.3997	Or. al origen	0.4377	Or. al origen	0.4127	Or. al origen 0.4167
Correlación	0.9989	Correlación	0.9977	Correlación	0.9997	Correlación 0.99876667
Descendente "168 hrs"		Descendente "216 hrs"		Descendente "264 hrs"		
E(vid) vs pH (vidrio)		E(vid) vs pH (vidrio)		E(vid) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0583	Pendiente	-0.0617	Pendiente	-0.0577	Pendiente -0.05923333
Or. al origen	0.4071	Or. al origen	0.4229	Or. al origen	0.4074	Or. al origen 0.41246667
Correlación	0.9983	Correlación	0.9964	Correlación	1	Correlación 0.99823333

Electrodo D						
Ascendente "168 hr"		Ascendente "216 hrs"		Ascendente "264 hrs"		
E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.063	Pendiente	-0.0621	Pendiente	-0.0613	Pendiente -0.06213333
Or. al origen	0.3321	Or. al origen	0.3429	Or. al origen	0.3311	Or. al origen 0.33536667
Correlación	0.9985	Correlación	0.9977	Correlación	0.9987	Correlación 0.9983
Descendente "168 hrs"		Descendente "216 hrs"		Descendente "264 hrs"		
E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0624	Pendiente	-0.0635	Pendiente	-0.0645	Pendiente -0.06346667
Or. al origen	0.3379	Or. al origen	0.3482	Or. al origen	0.3542	Or. al origen 0.34676667
Correlación	0.9994	Correlación	0.9991	Correlación	0.9985	Correlación 0.999

Electrodo E						
Ascendente "168 hr"		Ascendente "216 hrs"		Ascendente "264 hrs"		
E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0613	Pendiente	-0.0617	Pendiente	-0.0613	Pendiente -0.06143333
Or. al origen	0.3337	Or. al origen	0.3297	Or. al origen	0.3337	Or. al origen 0.33236667
Correlación	0.9990	Correlación	0.9974	Correlación	0.9990	Correlación 0.99846667
Descendente "168 hrs"		Descendente "216 hrs"		Descendente "264 hrs"		
E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0621	Pendiente	-0.0621	Pendiente	-0.0621	Pendiente -0.0621
Or. al origen	0.3314	Or. al origen	0.3423	Or. al origen	0.3314	Or. al origen 0.33503333
Correlación	0.9983	Correlación	0.9991	Correlación	0.9983	Correlación 0.99856667

Los siguientes resultados corresponden al tercer periodo de tiempo, es decir, de 336-432 hrs para cada electrodo.

Electrodo A						
Ascendente "336 hr"		Ascendente "384 hrs"		Ascendente "432 hrs"		
E(A) vs pH (vidrio)		E(A) vs pH (vidrio)		E(A) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0602	Pendiente	-0.0612	Pendiente	-0.0665	Pendiente -0.06263333
Or. al origen	0.3154	Or. al origen	0.3191	Or. al origen	0.3606	Or. al origen 0.3317
Correlación	0.9770	Correlación	0.9924	Correlación	0.9996	Correlación 0.98966667
Descendente "336 hrs"		Descendente "384 hrs"		Descendente "342 hrs"		
E(A) vs pH (vidrio)		E(A) vs pH (vidrio)		E(A) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0552	Pendiente	-0.0531	Pendiente	-0.0606	Pendiente -0.0563
Or. al origen	0.2775	Or. al origen	0.2331	Or. al origen	0.3372	Or. al origen 0.2826
Correlación	0.9918	Correlación	0.9892	Correlación	0.9977	Correlación 0.9929

Electrodo B						
Ascendente "336 hr"		Ascendente "384 hrs"		Ascendente "432 hrs"		
E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0606	Pendiente	-0.0577	Pendiente	-0.0653	Pendiente -0.0612
Or. al origen	0.3478	Or. al origen	0.3243	Or. al origen	0.3745	Or. al origen 0.34886667
Correlación	0.9876	Correlación	0.9835	Correlación	0.9994	Correlación 0.99016667
Descendente "336 hrs"		Descendente "384 hrs"		Descendente "342 hrs"		
E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		E(B) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0558	Pendiente	-0.0561	Pendiente	-0.0605	Pendiente -0.05746667
Or. al origen	0.2984	Or. al origen	0.3118	Or. al origen	0.3336	Or. al origen 0.3146
Correlación	0.9956	Correlación	0.9723	Correlación	0.999	Correlación 0.98896667

Electrodo C						
Ascendente "336 hr"		Ascendente "384 hrs"		Ascendente "432 hrs"		
E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0578	Pendiente	-0.0621	Pendiente	-0.0625	Pendiente -0.0608
Or. al origen	0.3604	Or. al origen	0.3491	Or. al origen	0.3349	Or. al origen 0.34813333
Correlación	0.9963	Correlación	0.9968	Correlación	0.9991	Correlación 0.9974
Descendente "336 hrs"		Descendente "384 hrs"		Descendente "342 hrs"		
E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		E(C) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0528	Pendiente	-0.0581	Pendiente	-0.0616	Pendiente -0.0575
Or. al origen	0.2759	Or. al origen	0.3065	Or. al origen	0.3536	Or. al origen 0.312
Correlación	0.992	Correlación	0.9971	Correlación	0.9994	Correlación 0.99616667

Electrodo de Vidrio						
Ascendente "336 hr"		Ascendente "384 hrs"		Ascendente "432 hrs"		
E(vid) vs pH (vidrio)		E(vid) vs pH (vidrio)		E(vid) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0592	Pendiente	-0.0581	Pendiente	-0.0618	Pendiente -0.0597
Or. al origen	0.4157	Or. al origen	0.4073	Or. al origen	0.4397	Or. al origen 0.4209
Correlación	0.9999	Correlación	1.0000	Correlación	0.9997	Correlación 0.99986667
Descendente "336 hrs"		Descendente "384 hrs"		Descendente "342 hrs"		
E(vid) vs pH (vidrio)		E(vid) vs pH (vidrio)		E(vid) vs pH (vidrio)		Promedios
Pendiente	-0.0599	Pendiente	-0.0572	Pendiente	-0.0604	Pendiente -0.05916667
Or. al origen	0.4195	Or. al origen	0.4006	Or. al origen	0.4357	Or. al origen 0.4186
Correlación	1	Correlación	0.9993	Correlación	0.9989	Correlación 0.9994

Electrodo D			
Ascendente "336 hr"	Ascendente "384 hrs"	Ascendente "432 hrs"	
E(B) vs pH (vidrio)	E(B) vs pH (vidrio)	E(B) vs pH (vidrio)	Promedios
Pendiente -0.0605	Pendiente -0.0621	Pendiente -0.0622	Pendiente -0.0616
Or. al origen 0.3282	Or. al origen 0.3429	Or. al origen 0.3384	Or. al origen 0.3365
Correlación 0.9994	Correlación 0.9977	Correlación 0.9989	Correlación 0.99866667
Descendente "336 hrs"	Descendente "384 hrs"	Descendente "342 hrs"	
E(B) vs pH (vidrio)	E(B) vs pH (vidrio)	E(B) vs pH (vidrio)	Promedios
Pendiente -0.0612	Pendiente -0.0635	Pendiente -0.0616	Pendiente -0.0621
Or. al origen 0.3236	Or. al origen 0.3482	Or. al origen 0.3435	Or. al origen 0.33843333
Correlación 0.999	Correlación 0.9991	Correlación 0.9967	Correlación 0.99826667

Electrodo E			
Ascendente "336 hr"	Ascendente "384 hrs"	Ascendente "432 hrs"	
E(C) vs pH (vidrio)	E(C) vs pH (vidrio)	E(C) vs pH (vidrio)	Promedios
Pendiente -0.0613	Pendiente -0.0621	Pendiente -0.0614	Pendiente -0.0616
Or. al origen 0.333	Or. al origen 0.3491	Or. al origen 0.331	Or. al origen 0.3377
Correlación 0.9951	Correlación 0.9968	Correlación 0.9980	Correlación 0.99663333
Descendente "336 hrs"	Descendente "384 hrs"	Descendente "342 hrs"	
E(C) vs pH (vidrio)	E(C) vs pH (vidrio)	E(C) vs pH (vidrio)	Promedios
Pendiente -0.0621	Pendiente -0.0581	Pendiente -0.0616	Pendiente -0.0606
Or. al origen 0.3274	Or. al origen 0.3065	Or. al origen 0.3411	Or. al origen 0.325
Correlación 0.9995	Correlación 0.9971	Correlación 0.9943	Correlación 0.99696667

Gráficas de Potencial (V) en función del Tiempo (hrs).

Electrodo A					
Ascendente					
t(hr)	E(pH=2)	E(pH=4)	E(pH=7)	E(pH=10)	E(pH=13)
0	0.2	0.06	-0.12	-0.29	-0.46
48	0.28	0.04	-0.185	-0.34	-0.49
96	0.2	0.04	-0.16	-0.35	-0.46
168	0.15	0.04	-0.12	-0.28	-0.44
216	0.19	0.04	-0.18	-0.3	-0.45
264	0.19	0.11	-0.13	-0.28	-0.41
336	0.215	0.05	-0.14	-0.31	-0.4
384	0.21	0.06	-0.14	-0.295	-0.45
432	0.2	0.06	-0.12	-0.29	-0.46
Descendente					
t(hr)	E(pH=13)	E(pH=10)	E(pH=7)	E(pH=4)	E(pH=2)
0	-0.46	-0.25	-0.095	0.065	0.18
48	-0.48	-0.325	-0.148	0.03	0.26
96	-0.465	-0.305	-0.12	0.04	0.15
168	-0.46	-0.28	-0.12	0.035	0.13
216	-0.45	-0.31	-0.17	0.03	0.13
264	-0.4	-0.22	-0.04	0.12	0.22
336	-0.4	-0.255	-0.145	0.05	0.165
384	-0.42	-0.32	-0.17	0.004	0.14
432	-0.44	-0.25	-0.095	0.065	0.18

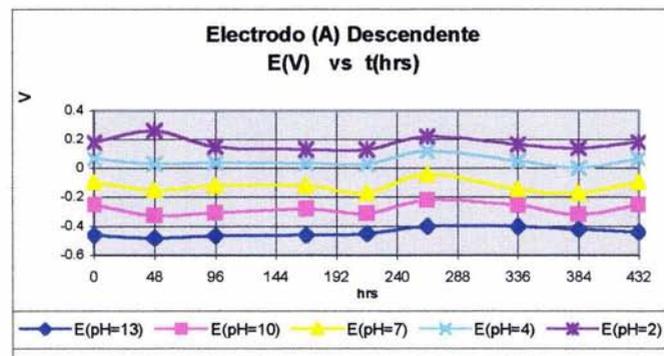
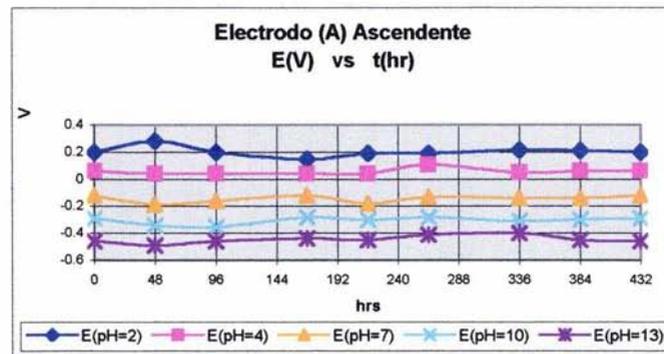


Tabla 4.1 Potenciales reportados por el electrodo A en 432 hrs.

Electrodo B					
Ascendente					
t(hr)	E(pH=2)	E(pH=4)	E(pH=7)	E(pH=10)	E(pH=13)
0	0.21	0.06	-0.11	-0.28	-0.46
48	0.23	0.09	-0.09	-0.27	-0.4
96	0.18	0.06	-0.14	-0.31	-0.49
168	0.2	0.06	-0.13	-0.28	-0.43
216	0.16	0.05	-0.16	-0.285	-0.4
264	0.25	0.1	-0.05	-0.24	-0.38
336	0.25	0.07	-0.09	-0.27	-0.385
384	0.23	0.09	-0.12	-0.28	-0.36
432	0.21	0.08	-0.1	-0.28	-0.46
Descendente					
t(hr)	E(pH=13)	E(pH=10)	E(pH=7)	E(pH=4)	E(pH=2)
0	-0.44	-0.28	-0.11	0.05	0.18
48	-0.35	-0.18	-0.06	0.1	0.2
96	-0.44	-0.31	-0.16	0.005	0.16
168	-0.445	-0.27	-0.105	0.065	0.17
216	-0.4	-0.3	-0.18	0.02	0.15
264	-0.36	-0.24	-0.07	0.135	0.21
336	-0.38	-0.27	-0.11	0.065	0.18
384	-0.35	-0.3	-0.1	0.11	0.19
432	-0.44	-0.28	-0.11	0.05	0.18

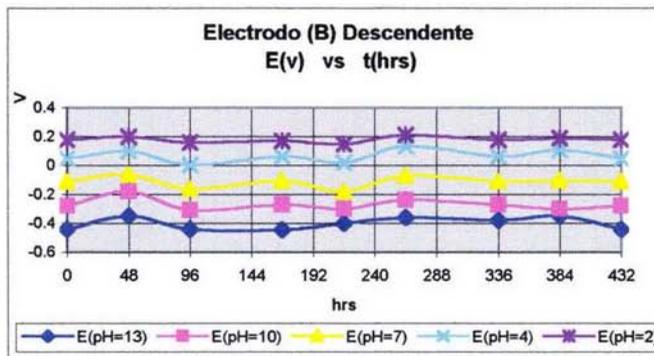
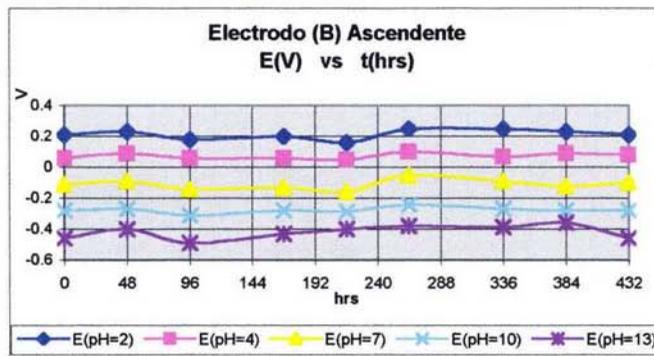


Tabla 4.2 Potenciales reportados por el electrodo B en 432 hrs.

Electrodo C					
Ascendente					
t(hr)	E(pH=2)	E(pH=4)	E(pH=7)	E(pH=10)	E(pH=13)
0	0.18	0.05	-0.12	-0.31	-0.45
48	0.24	0.08	-0.14	-0.3	-0.47
96	0.15	0.04	-0.17	-0.31	-0.46
168	0.19	0.04	-0.14	-0.29	-0.43
216	0.25	0.12	-0.1	-0.25	-0.4
264	0.14	0.03	-0.16	-0.3	-0.4
336	0.25	0.1	-0.04	-0.2	-0.36
384	0.22	0.09	-0.115	-0.27	-0.42
432	0.18	0.05	-0.12	-0.31	-0.45
Descendente					
t(hr)	E(pH=13)	E(pH=10)	E(pH=7)	E(pH=4)	E(pH=2)
0	-0.41	-0.23	-0.08	0.08	0.16
48	-0.42	-0.26	-0.1	0.09	0.195
96	-0.46	-0.29	-0.14	0.03	0.15
168	-0.43	-0.275	-0.115	0.06	0.16
216	-0.43	-0.29	-0.14	0.03	0.14
264	-0.39	-0.25	-0.1	0.05	0.15
336	-0.4	-0.22	-0.12	0.07	0.15
384	-0.41	-0.29	-0.12	0.055	0.19
432	-0.41	-0.23	-0.11	0.08	0.19

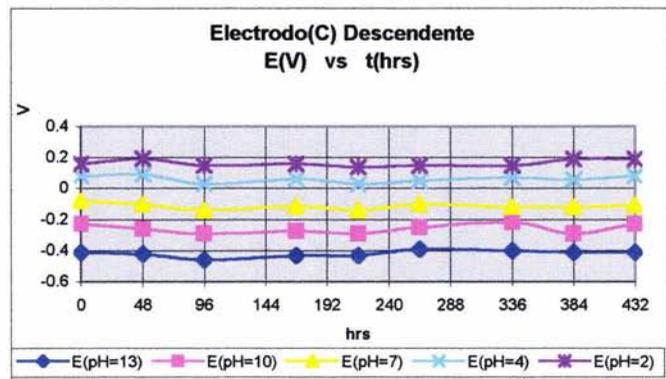
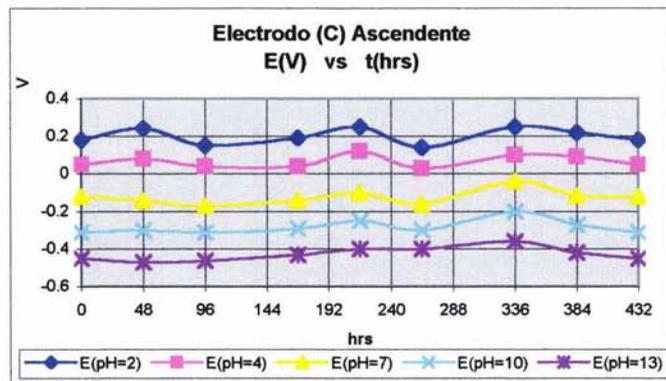
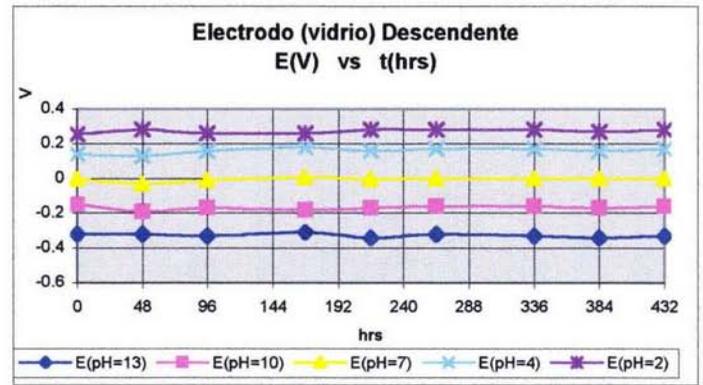
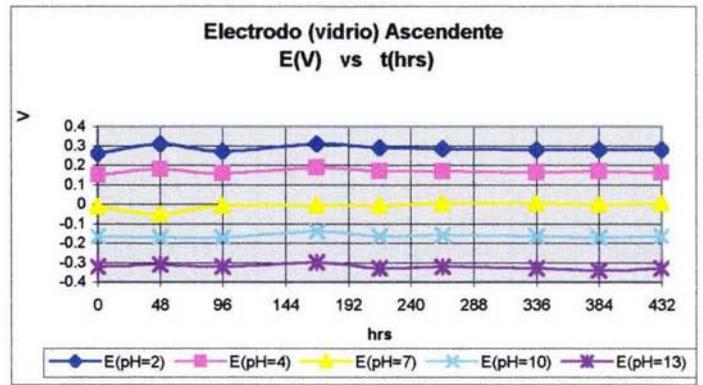


Tabla 4.3 Potenciales reportados por el electrodo C en 432 hrs.

Electrodo de vidrio					
Ascendente					
t(hr)	E(pH=2)	E(pH=4)	E(pH=7)	E(pH=10)	E(pH=13)
0	0.26	0.15	-0.01	-0.165	-0.32
48	0.31	0.18	-0.048	-0.17	-0.31
96	0.27	0.16	-0.005	-0.17	-0.32
168	0.31	0.19	-0.005	-0.14	-0.3
216	0.29	0.17	-0.005	-0.165	-0.33
264	0.285	0.17	0.005	-0.16	-0.32
336	0.28	0.165	0.005	-0.165	-0.33
384	0.28	0.17	0	-0.17	-0.34
432	0.28	0.165	0.005	-0.165	-0.33
Descendente					
t(hr)	E(pH=13)	E(pH=10)	E(pH=7)	E(pH=4)	E(pH=2)
0	-0.32	-0.15	-0.005	0.14	0.255
48	-0.32	-0.19	-0.03	0.13	0.28
96	-0.33	-0.17	-0.01	0.16	0.26
168	-0.31	-0.18	0.005	0.18	0.26
216	-0.34	-0.17	-0.005	0.16	0.28
264	-0.32	-0.16	0	0.17	0.28
336	-0.33	-0.16	0	0.17	0.28
384	-0.34	-0.17	0	0.16	0.27
432	-0.33	-0.16	0	0.17	0.28

Tabla 4.4 Potenciales reportados por el electrodo de vidrio en 432 hrs.



Electrodo D					
Ascendente					
t(hr)	E(pH=2)	E(pH=4)	E(pH=7)	E(pH=10)	E(pH=13)
0	0.2	0.06	-0.11	-0.29	-0.47
48	0.2	0.05	-0.11	-0.29	-0.46
96	0.19	0.05	-0.11	-0.3	-0.45
168	0.2	0.06	-0.12	-0.3	-0.46
216	0.2	0.05	-0.09	-0.28	-0.45
264	0.19	0.05	-0.11	-0.28	-0.45
336	0.2	0.07	-0.09	-0.27	-0.43
384	0.2	0.05	-0.09	-0.28	-0.45
432	0.2	0.07	-0.12	-0.28	-0.46
Descendente					
t(hr)	E(pH=13)	E(pH=10)	E(pH=7)	E(pH=4)	E(pH=2)
0	-0.46	-0.31	-0.11	0.07	0.19
48	-0.46	-0.29	-0.1	0.06	0.19
96	-0.46	-0.31	-0.11	0.07	0.19
168	-0.46	-0.29	-0.1	0.06	0.19
216	-0.46	-0.31	-0.11	0.07	0.19
264	-0.46	-0.32	-0.08	0.05	0.2
336	-0.45	-0.27	-0.11	0.065	0.18
384	-0.46	-0.31	-0.11	0.07	0.19
432	-0.45	-0.2	-0.11	0.05	0.19

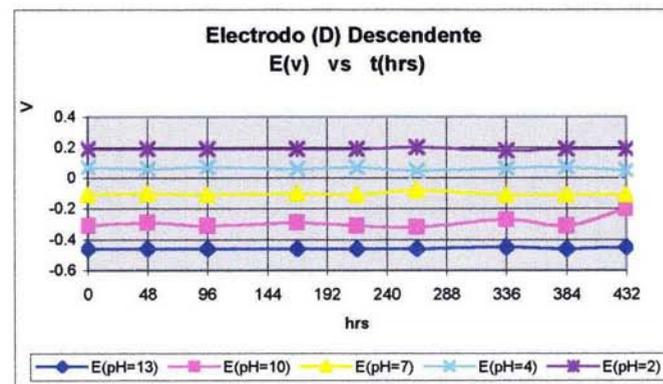
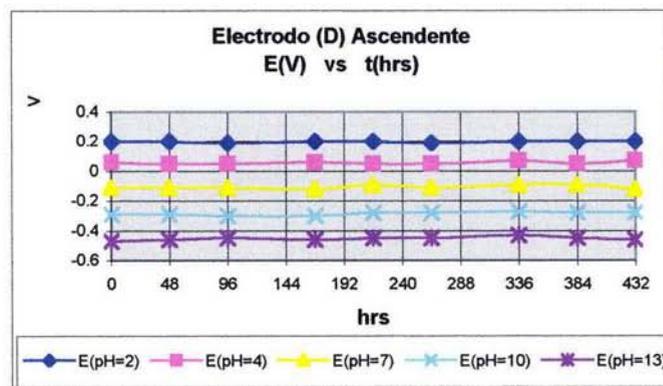


Tabla 4.5 Potenciales reportados por el electrodo D en 432 hrs.

Electrodo E					
Ascendente					
t(hr)	E(pH=2)	E(pH=4)	E(pH=7)	E(pH=10)	E(pH=13)
0	0.18	0.07	-0.1	-0.3	-0.45
48	0.18	0.07	-0.1	-0.29	-0.45
96	0.18	0.06	-0.12	-0.27	-0.45
168	0.18	0.07	-0.1	-0.29	-0.43
216	0.18	0.05	-0.13	-0.27	-0.44
264	0.17	0.06	-0.1	-0.29	-0.43
336	0.18	0.1	-0.08	-0.28	-0.43
384	0.22	0.09	-0.12	-0.27	-0.42
432	0.18	0.05	-0.1	-0.3	-0.44
Descendente					
t(hr)	E(pH=13)	E(pH=10)	E(pH=7)	E(pH=4)	E(pH=2)
0	-0.44	-0.27	-0.09	0.08	0.19
48	-0.47	-0.28	-0.1	0.06	0.18
96	-0.44	-0.3	-0.11	0.08	0.2
168	-0.47	-0.28	-0.1	0.06	0.18
216	-0.44	-0.29	-0.11	0.06	0.2
264	-0.47	-0.28	-0.1	0.06	0.18
336	-0.45	-0.29	-0.12	0.07	0.19
384	-0.41	-0.29	-0.12	0.055	0.19
432	-0.41	-0.28	-0.11	0.06	0.19

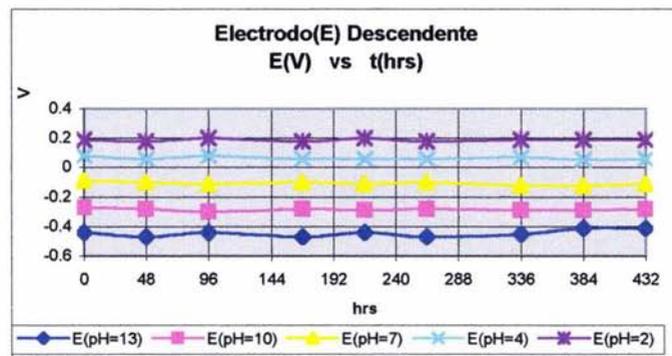
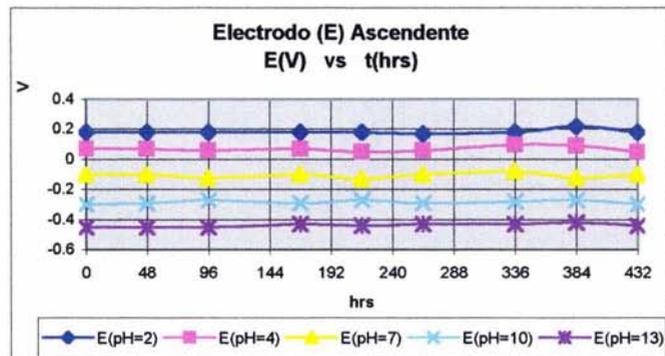


Tabla 4.6 Potenciales reportados por el electrodo E en 432 hrs.

En esta parte se muestran los resultados de la valoración Ácido-Base de 15 ml de *Ácido Fosfórico* [10^{-2}] (titulado) con *Hidróxido de Sodio* [$3 \cdot 10^{-2}$] (titulante)

MI(agr)	pH Vidrio	pH acero	Vcorr	1d vidrio	1d acero
0	2.7	1.4	0	0.1	0.2
1	2.8	1.6	1.5	0.05	0.15
2	2.85	1.75	2.5	0.05	0.15
3	2.9	1.9	3.25	0.2	0.2
3.5	3	2	3.75	0	0.2
4	3	2.1	4.25	0.2	0.3
4.5	3.1	2.25	4.62	0.4	0.6
4.75	3.2	2.4	4.87	0.4	0
5	3.3	2.4	5.12	0.2	0.6
5.25	3.35	2.55	5.37	0.6	1
5.5	3.5	2.8	5.62	1	1.6
5.75	3.75	3.2	5.87	5	5.2
6	5	4.5	6.12	2.2	2.8
6.25	5.55	5.2	6.37	1.4	1.4
6.5	5.9	5.55	6.62	1.2	1
6.75	6.2	5.8	6.87	0.4	0.4
7	6.3	5.9	7.25	0.4	0.5
7.5	6.5	6.15	7.75	0.4	0.3
8	6.7	6.3	8.5	0.3	0.2
9	7	6.5	9.5	0.3	0.2
10	7.3	6.7	10.2	0.2	0.2
10.5	7.4	6.8	10.7	0.4	0.2
11	7.6	6.9	11.2	0.5	0.3
11.5	7.85	7.05	11.6	0.6	0.6
11.75	8	7.2	11.8	0.8	0.4
12	8.2	7.3	12.1	0.6	1
12.25	8.35	7.55	12.3	1.8	1.8
12.5	8.8	8	12.6	4	4
12.75	9.8	9	12.8	1.4	1
13	10.15	9.25	13.2	0.9	0.8
13.5	10.6	9.65	13.7	0.4	0.3
14	10.8	9.8	14.5	0.3	0.2
15	11.1	10	15.5	0.15	0.15
16	11.25	10.15	16.5	0.1	0.1
17	11.35	10.25			

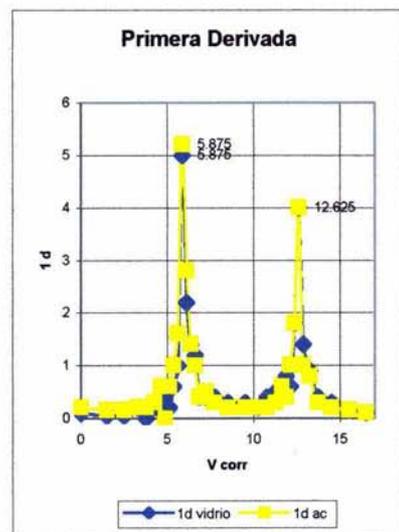
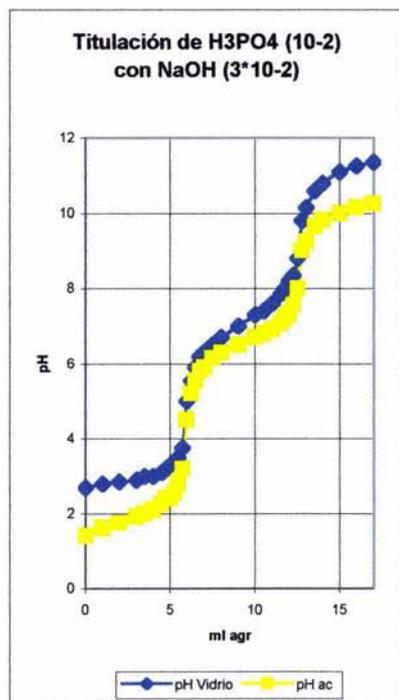
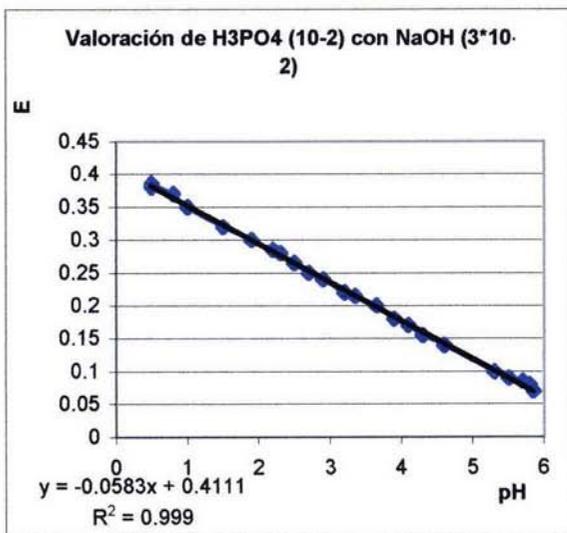
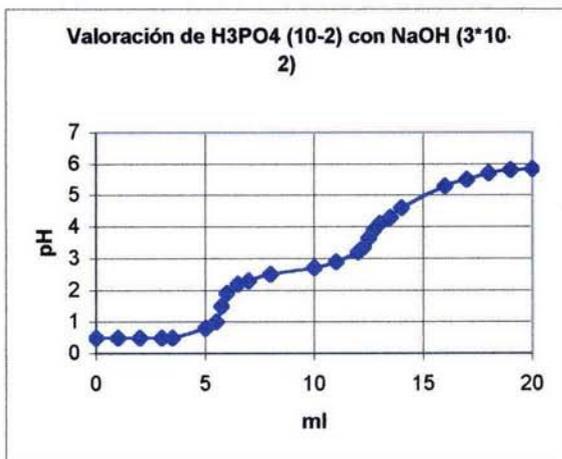


Tabla 4.7 *Ácido Fosfórico* [10^{-2}] (titulado) con *Hidróxido de Sodio* [$3 \cdot 10^{-2}$] (titulante).

Evaluación del cumplimiento de la ley de Nernst para el electrodo de acero 316 electropulido mediante la valoración de ácido fosfórico con hidróxido de sodio.

ml	pH(ac)	E(pt)V
0	0.5	0.38
1	0.5	0.38
2	0.5	0.385
3	0.5	0.385
3.5	0.5	0.385
5	0.8	0.37
5.5	1	0.35
5.75	1.5	0.32
6	1.9	0.3
6.5	2.2	0.285
7	2.3	0.28
8	2.5	0.265
10	2.7	0.25
11	2.9	0.24
12	3.2	0.22
12.25	3.35	0.215
12.5	3.65	0.2
12.75	3.9	0.18
13	4.1	0.17
13.5	4.3	0.155
14	4.6	0.14
16	5.3	0.1
17	5.5	0.09
18	5.7	0.085
19	5.8	0.08
20	5.85	0.07

Tabla 4.8 Ácido Fosfórico [10^{-2}] (titulado) con Hidróxido de Sodio [$3 \cdot 10^{-2}$] (titulante).



**ESTUDIO DE LA RESPUESTA AL pH DEL ELECTRODO DE ACERO
INOXIDABLE 316 CON ELECTROPULIDO**

CAPITULO V
CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados para el presente trabajo puede concluirse que:

El objetivo número 1 se satisfizo mediante el uso de una metodología que cuenta con referenciadas previas.

Una vez obtenidos los electrodos de acero 316 electropulido, se determinó el comportamiento en ambos tipos de electrodo (comercial y de acero) para caracterizar la relación pH-potencial. En ambos casos se obtuvo una respuesta de tipo Nerstiana (figuras de las páginas 34-36)

Esto se comprobó mediante las regresiones cuyos valores para ambos tipos de electrodos superaron el valor de $R^2 = 0.99$ con ligeras variaciones en el orden de las milésimas y diezmilésimas. Los valores de regresión reportados satisfacen el objetivo No. 2.

Con el fin de cubrir el objetivo No. 3, se realizaron mediciones a distintos intervalos de tiempo para determinar la estabilidad de las mediciones contra el tiempo e identificar posibles variaciones (interferencias, tiempos de respuesta o cualquier respuesta anómala). Lo anterior se realizó con el único propósito de conocer el comportamiento de los electrodos contra el tiempo.

De acuerdo con los resultados obtenidos puede concluirse que los electrodos de acero 316 electropulido dan respuestas consistentes a través del tiempo (432 horas de prueba).

La evaluación del cumplimiento de la ley de Nernst para el electrodo de acero 316 electropulido mediante la valoración de Acido Fosfórico con Hidróxido de Sodio, permite identificar una respuesta Nernstiana en 27 mediciones por titulación ácido-base, encontrándose un valor $R^2 = 0.999$ (página 53). De ello puede desprenderse que los electrodos objeto del presente trabajo, constituyen una herramienta analítica confiable por la calidad de su respuesta, misma que es similar o superior al de los electrodos comerciales de vidrio.

Como en el caso de los electrodos comerciales, cuyos requisitos de manejo obligan a su conservación en medio acuoso, los electrodos de acero 316 electropulido, mejoran su respuesta bajo condiciones de hidratación, esto se comprueba comparando las regresiones presentadas por los electrodos almacenados en NaOH 0.1M “D y E” en las páginas 39, 42 y 45 con las regresiones de los electrodos “A, B y C” de las páginas 37, 38, 40, 41, 43 y 44.

Entre otros aspectos importantes, puede destacarse el hecho de que por sus dimensiones, costo, respuesta, manejo, interferencias, etc... los electrodos de acero 316 electropulido presentan sensibles ventajas sobre otro tipo de dispositivos fabricados para el mismo fin.

**ESTUDIO DE LA RESPUESTA AL pH DEL ELECTRODO DE ACERO
INOXIDABLE 316 CON ELECTROPULIDO**

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- | No. de
Nota | Referencia |
|----------------|---|
| 1 | <i>de Garay Hernández, Diana, Tesis de Ingeniería Química: Electropulido de Acero Inoxidable 316, y su efecto sobre las películas de Oxido como sensores de pH. Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, U.N.A.M., 1998</i> |
| 2 | <u>http://www.nefrored.edu.bo/fluidos3.htm</u> |
| 3 | <i>Harris Daniel C., ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO, Tercera edición. Grupo Editorial Iberoamérica, México D.F. 1992</i> |
| 4 | <i>Christian Gary D., QUÍMICA ANALÍTICA.. Segunda Edición,. Ed. Limusa, México D.F. 1993</i> |
| 5 | <u>http://www.uv.es/~baeza/qai.html</u> |
| 6 | <u>http://www.terra.es/personal/acarva/mantenimiento_.htm</u> |
| 7 | <u>http://www.inoxidable.com/index.html</u> |