



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

**Microvaloraciones ácido base con electrodo electropulido-
electropulido utilizando multímetro como sustituto del
potenciómetro.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTAN:

Ana Monica Morales Robles

Ivonne Abigail Peña Hernández

ASESOR:

Dr. José de Jesús Pérez Saavedra

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2018



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Microvaloraciones ácido base con electrodo electropulido-electropulido utilizando multímetro como sustituto del potenciómetro.

Que presenta la pasante: Ana Monica Morales Robles

Con número de cuenta: 414032970 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Química

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

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 11 de Septiembre de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. José de Jesús Pérez Saavedra	
VOCAL	Dra. Celina Elena Urrutia Vargas	
SECRETARIO	Dr. Julio César Morales Mejía	
1er. SUPLENTE	M. en C. Gabriel Israel Nava Nabté	
2do. SUPLENTE	I.Q. Blanca Andrea Sánchez González	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTÁZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Microvaloraciones ácido base con electrodo electropulido-electropulido utilizando multímetro como sustituto del potenciómetro.

Que presenta la pasante: Ivonne Abigail Peña Hernández

Con número de cuenta: 311311189 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Química

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 11 de Septiembre de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. José de Jesús Pérez Saavedra	
VOCAL	Dra. Celina Elena Urrutia Vargas	
SECRETARIO	Dr. Julio César Morales Mejía	
1er. SUPLENTE	M. en C. Gabriel Israel Nava Nabté	
2do. SUPLENTE	I.Q. Blanca Andrea Sánchez González	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

AGRADECIMIENTOS

A DIOS principalmente por darme la vida, y por la oportunidad de llegar hasta este momento, por darme fortaleza en los momentos difíciles y regocijarme de paz.

A mi hermano Ale por ser parte de mi motivación, fuente de inspiración y cuidar de mí desde el cielo ¡Te amo y extraño!

A Víctor por haber formado parte de mi familia y por los momentos compartidos; vives en mi pensamiento y corazón ¡Te quiero!

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por la oportunidad que me dio de pertenecer a ella y poder formarme como profesionista y crecer como ser humano; y que además me dio la oportunidad de conocer a grandes amistades que espero perduren por muchos años.

A los profesores que no solo compartieron conocimientos y experiencias sino que algunos son considerados como amigos. A los integrantes del jurado por sus aportaciones y tiempo brindado.

A nuestro asesor el Dr. José de Jesús Pérez Saavedra por la experiencia de poder trabajar con él, por la paciencia y apoyo brindado a lo largo de este proyecto y llevarlo a buen término.

A mis papás por siempre cuidar de mí, por los valores que me inculcaron y todo el esfuerzo y desvelos en los que me acompañaron. Por confiar en mí y darme ánimos cuando se ponía difícil. Los amo.

A mi hermana Caro por creer en mí y ser parte de mi motivación para lograr cada meta que me propongo. Te amo enana.

A mi familia de sangre por estar siempre para mí, por todo el amor y apoyo; a mi familia de FE que me han acompañado no solo en el crecimiento espiritual, sino también por su amistad y apoyo incondicional en especial a Pbro. José Guadalupe Valencia, Roberto, Arturo, Mike, Marco, Dani; entre muchos otros.

A mis amigos por todas las risas, desvelos, estrés, y vivencias a lo largo de esta etapa, en ustedes encontré personas valiosas que deseo permanezcan para toda la vida; Ivonne, Eduardo, Erika, Diana, Laura, Jaime, Luis. A los que siguen acompañándome y brindándome su amistad, apoyo y confianza en especial a Juan Eduardo por echarme porras y no dejarme caer.

A la familia Aguilar Ortiz por acompañarme a lo largo de mi vida, estar pendientes y brindarme su amor y apoyo.

A Ricky por esta nueva etapa, por los momentos compartidos, apoyo y amor. ¡Te amo!

Con amor y cariño, Ana Monica

A MI MARAVILLOSA UNAM. Por haberme dado la oportunidad de ser parte de ella desde CCH y abrirme las puertas en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1, para poder estudiar mi carrera, Ingeniería Química. Es un privilegio pertenecer a esta gran institución, gracias por enseñarme tantas cosas, siempre estaré muy agradecida y orgullosa de ser Universitaria. Gracias por tanto, es mi momento de retribuir todo lo me has dado a lo largo de estos años.

A MI ASESOR DE TESIS. El Dr. José de Jesús Pérez Saavedra, por brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, gracias por todo el tiempo y la paciencia para guiarme durante todo el desarrollo de esta tesis.

A LOS INTEGRANTES DE MI JURADO. Por su tiempo, por todos los comentarios y aportaciones que hicieron para poder enriquecer esta tesis.

A MIS PROFESORES. Por haberme brindado sus conocimientos y su apoyo a lo largo de mi carrera.

A MIS PAPÁS. Por ser el pilar que sostiene mi vida, porque han estado conmigo desde el inicio, siempre apoyándome. Gracias por darme la oportunidad de terminar mis estudios y nunca dejarme sola en el camino, por cada sacrificio que hacen para que yo esté bien. Por su tiempo y dedicación, por todos los valores que me inculcaron, porque gracias a ustedes soy la persona que soy ahora, por confiar de mí y hacerme querer llegar más lejos cada día, gracias por todo el amor que me dan y por darme todo sin esperar nada a cambio, este logro también es de ustedes ya que sin su apoyo no lo hubiera podido lograr, son los mejores padres que pude haber tenido. Los amo.

A MIS HERMANOS. Gracias por acompañarme a lo largo de este recorrido, por las noches de desvelo en las que se quedaron conmigo mientras hacía tarea, por las palabras de aliento, todo su cariño y ayuda, por celebrar conmigo cada uno de mis logros y seguir a mi lado cuando todo se ponía difícil. De ustedes dos he aprendido tantas cosas y me motivan a querer ser mejor, los amo hermanitos.

A DIOS. Por darme la vida y bendecirme con la maravillosa familia que tengo. Por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Por ser mi fuerza y no dejarme caer.

A MI NOVIO. Por siempre creer en mí, por estar a mi lado en cada paso y no dejarme sola. Por todo tu amor y apoyo, por ayudarme a ser mejor y a nunca rendirme.

A MIS AMIGOS. A mi compañera de tesis Monica por haber sido parte de este trabajo, empezamos juntas y terminamos juntas. A todo el combo; Eduardo, Diana y Erika, por cada momento juntos, las risas y todo el apoyo, a Laura y Jaime, que aunque no estuvimos en muchas clases juntos la amistad perduró. Todos ustedes han hecho inolvidable mi estancia en esta institución. También quiero agradecer a Adriana y Fer que aún en la distancia siempre están cuando más las necesito.

Infinitas gracias.

Con todo mi amor y cariño, este trabajo se lo dedico a todos los que creyeron en mí y me apoyaron en el camino para poder alcanzar esta meta.

→ Ivonne Abigail Peña Hernández.

INDICE

RESUMEN.	1
Marco teórico	2
1. Reacción ácido-base.....	2
2. Potenciometría.	3
2.1 Medidas potenciométricas directas.	4
2.2 Titulaciones potenciométricas.	4
3. Potenciómetro.....	5
4. Multímetro.....	5
5. Electrodo.....	6
5.1 Electrodo de referencia.	7
5.2 Electrodo indicador.	8
6. Electropulido de metales.	8
JUSTIFICACIÓN	11
OBJETIVOS	12
Objetivo general:	12
Objetivos particulares:	12
Capítulo I _____	13
ELABORACIÓN DEL ELECTRODO ELECTROPULIDO-ELECTROPULIDO	13
Capítulo II _____	15
VALORACIÓN DE ÁCIDO FOSFÓRICO CON HIDROXIDO DE SODIO, UTILIZANDO LOS ELECTRODOS ELABORADOS	15
Comparación de un electrodo comercial de vidrio con un electrodo electropulido-electropulido usando potenciómetro.....	15
Comparación de un multímetro con un potenciómetro.....	21
Capítulo III _____	27
VALORACIÓN DE ÁCIDO FOSFÓRICO CON HIDROXIDO DE SODIO, UTILIZANDO LOS ELECTRODOS E-E YA ECAPSULADOS.	27
Comparación de un multímetro con un potenciómetro usando el E-E encapsulado.....	27
Capítulo IV _____	33
VALORACIÓN DE ÁCIDO FOSFÓRICO CON HIDROXIDO DE SODIO, UTILIZANDO LOS ELECTRODOS E-E ECAPSULADOS Y CON CONEXIONES	33
Comparación de un electrodo comercial de vidrio con un electrodo electropulido-electropulido usando potenciómetro.....	33

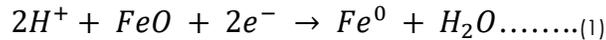
Comparación de un multímetro con un potenciómetro, utilizando E-E encapsulado y con conexiones.	39
Capítulo V	45
CALCULO DE LA T DE STUDENT PARA COMPARAR AMBOS MÉTODOS	45
CONCLUSIONES.	50
Conclusiones generales:	50
Conclusiones particulares:	50
ANEXOS	52
GLOSARIO	67
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	70
BIBLIOGRAFÍA.	73
CIBERGRAFÍA.	73

RESUMEN.

Se elabora un Electrodo Electropulido-Electropulido de Acero Inoxidable 316 para probar su funcionamiento en microvaloraciones ácido base, de H_3PO_4 con $NaOH$.

El electropulido es una técnica de acabado químico para superficies, mediante la cual el metal se disuelve electrofílicamente, ión por ión, de la superficie de un objeto metálico (Alenka, 2010).

Los electrodos E-E representan una buena alternativa por el bajo costo en su elaboración comparado con los electrodos convencionales, así como para reducir los residuos generados, para la realización de determinaciones potenciométricas, dado que del mismo modo que el electrodo de vidrio, estos electrodos cumplen con el modelo de la ecuación de Nernst, que para el caso particular del FeO (óxido ferroso) se tiene:



$$E = E_{Fe}^0 + \frac{0.0592}{2} \log \frac{[FeO][H^+]^2}{[Fe^0][H_2O]} \dots\dots(2)$$

$$E = E_{Fe}^0 + \frac{0.0592}{2} * 2 \log[H^+] \dots\dots(3)$$

$$E_T = E_{Fe}^0 + 0.0592 \log[H^+] \dots\dots(4)$$

$$E_T = E_{Fe}^0 - 0.0592pH \dots\dots\dots(5)$$

En este trabajo se compara el electrodo electropulido-electropulido elaborado, con los electrodos convencionales de vidrio, ya que como se sabe, estos pueden ser utilizados en las titulaciones potenciométricas.

También se demuestra experimentalmente que las valoraciones potenciométricas pueden llevarse a cabo utilizando un multímetro en vez de un potenciómetro, a través de un sistema indicador de punto de equivalencia.

Para comprobar que el electrodo E-E (Electropulido-Electropulido) da una respuesta similar al electrodo de Vidrio y que un multímetro puede funcionar como sustituto de un potenciómetro se realizó una serie de valoraciones, las cuales fueron efectuadas de manera simultánea con un el electrodo E-E y un electrodo comercial de vidrio. Por medio de estas valoraciones se encontró que el electrodo E-E elaborado muestra un comportamiento semejante a los electrodos comerciales en la determinación del volumen del punto de equivalencia en valoraciones ácido-base.

Finalmente se realiza la prueba estadística de t de Student para corroborar su funcionalidad y comprobar que esta nueva alternativa nos da resultados confiables como los que son obtenidos mediante un método convencional.

Marco teórico

La química analítica ha evolucionado de una manera considerable, los métodos volumétricos constituyen una herramienta importante y muy útil en cualquier laboratorio de análisis químico. Los métodos volumétricos son empleados para determinar la concentración del analito en estudio, y, dependiendo de las reacciones que se efectúen se clasifican en: reacciones ácido base, complejométricas, de óxido-reducción y de precipitación (Skoog-West-Holler-Crouch, 2005).

1. Reacción ácido-base.

Una reacción ácido-base o reacción de neutralización es una reacción química que ocurre entre un ácido y una base produciendo una sal y agua (Harris D., 2012).

La titulación ácido-base es un procedimiento analítico cuyo objetivo es determinar la concentración de un analito con propiedades ácidas o básicas, utilizando una disolución valorada de una base o ácido, mediante una reacción de neutralización para formar una sal y agua (Harris D., 2012).

Asimismo, mediante una titulación también es posible deducir el pK del analito.

Los casos más frecuentes en las valoraciones ácido-base son:

- valoración de ácido fuerte con base fuerte
- valoración de base fuerte con ácido fuerte
- valoración de ácido débil con base fuerte
- valoración de base débil con ácido fuerte

Las valoraciones ácido-base poseen las siguientes características

- Se basan en una reacción volumétrica ácido-base.
- El fundamento teórico de dicha reacción es la transferencia de protones entre el ácido y la base
- El intervalo de viraje se caracteriza por un cambio brusco del pH.
- Se necesita un indicador químico o un pHmetro para monitorizar la valoración.

2. Potenciometría.

La potenciometría es un método que involucra todas las propiedades electroquímicas con las que cuenta una solución para así obtener la concentración del analito que se encuentra presente en ella y se desea conocer. En definición, la potenciometría es un método analítico electroquímico basado en la medida de la diferencia de potencial entre electrodos sumergidos en una solución, siendo el potencial de uno de los electrodos función de la concentración de determinados iones presentes en la solución. La medida de los potenciales de electrodo permite obtener de forma directa la concentración de una sustancia o seguir su evolución a lo largo de una reacción química (reacción de titulación) (Harris D., 2012).

El objetivo de una medición potenciométrica es obtener información acerca de la composición de una solución mediante el potencial que aparece entre dos electrodos. La medición del potencial de la celda se determina bajo condiciones reversibles en forma termodinámica y esto implica que se debe dejar pasar el tiempo suficiente para que la celda se equilibre y que sólo se podrá extraer una corriente insignificante en el transcurso de la determinación.

El potencial de una celda se expresa con la relación:

$$E_{\text{cel}} = (E_{\text{ind}} - E_{\text{ref}}) + E_j \dots \dots \dots (6)$$

El potencial del electrodo indicador, E_{ind} , es sensible a las condiciones químicas de la solución, mientras que el electrodo de referencia tiene un potencial fijo, E_{ref} , independiente de la solución en la celda. El potencial también incluye el potencial en la unión líquida, E_j , que representa en la interfase entre el electrólito dentro del compartimiento del electrodo de referencia y la solución externa.

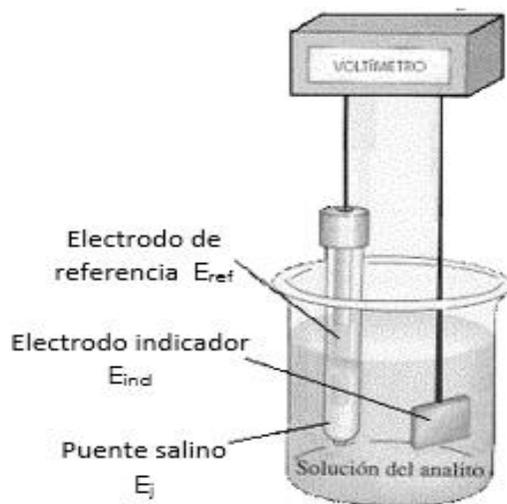
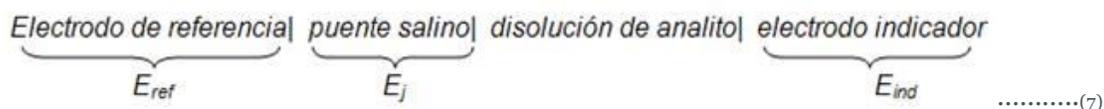


Figura 1. Celda para determinaciones potenciométricas.

Fuente: (Alquímica, 2011).

El diagrama de funcionamiento de la celda sería el siguiente:



Existen dos métodos para hacer mediciones experimentales.

- Al primer método se le llama **Potenciometría directa**; este método consiste en hacer una medición del potencial de la celda; esto es suficiente para determinar la actividad del ion que nos interesa, y se utiliza principalmente para medir el pH de disoluciones acuosas.
- Al segundo método se le llama **Valoración potenciométrica** y aquí el ion a determinar se valora y el potencial se mide en función del volumen de agente valorante. Este se utiliza para detectar el punto de equivalencia en una valoración. Este segundo método es aplicable a todo tipo de volumetrías.

2.1 Medidas potenciométricas directas.

Se pueden utilizar las medidas potenciométricas directas para completar los análisis químicos de aquellas especies para las cuales existe un electrodo indicador. La técnica es simple, y requiere sólo la comparación del potencial producido por el electrodo indicador en una solución problema con el potencial que se obtiene cuando se sumerge el mismo electrodo en una solución patrón (Bussi, 2004).

2.2 Titulaciones potenciométricas.

El método de titulación potenciométrica consiste en medir el potencial (voltaje) en una solución por medio de un electrodo como función de volumen de agente titulante. El potencial que se mide se puede transformar a unidades de concentración de una especie en solución. El potencial de un electrodo indicador adecuado puede utilizarse en forma muy conveniente para establecer el punto de equivalencia en una titulación (Bussi, 2004).

El punto final potenciométrico puede utilizarse en muchas circunstancias y proporciona datos intrínsecamente más precisos que los que se obtendrían con la misma técnica empleando indicadores. Lamentablemente, este procedimiento toma más tiempo que una titulación con indicador. Al comienzo, se agregan porciones grandes del reactivo con el que se titula; a medida que se aproxima el punto final, anunciado por mayores cambios de potencial en cada agregado, los incrementos se hacen más pequeños.

3. Potenciómetro.

Un potenciómetro es un dispositivo conformado por 2 resistencias en serie, las cuales poseen valores que pueden ser modificados por el usuario. Existen múltiples tipos de potenciómetros, variando su forma y el método cómo modifican los valores de las resistencias (PANAMAHITEK, s.f).

- Un Potenciómetro digital es un circuito integrado que tiene la capacidad de variar su resistividad a través de una señal digital.

4. Multímetro.

Un multímetro es un instrumento que permite medir directamente magnitudes eléctricas activas como corrientes y diferencia de potenciales o pasivas como resistencias, capacidades y otras. Las medidas pueden realizarse para corriente continua o alterna.

El funcionamiento se basa en la utilización de un galvanómetro que se emplea para todas las mediciones. Para poder medir cada una de las magnitudes eléctricas, el galvanómetro se debe completar con un determinado circuito eléctrico que dependerá también de dos características del galvanómetro: la resistencia interna (R_i) y la inversa de la sensibilidad. Esta última es la intensidad que, aplicada directamente a los bornes del galvanómetro, hace que la aguja llegue al fondo de escala.

En el laboratorio hay distintos tipos o modelos de estos multímetros electrónicos con lectura digital, correspondientes a diferentes marcas, pero todos ellos tienen unas partes o componentes comunes:

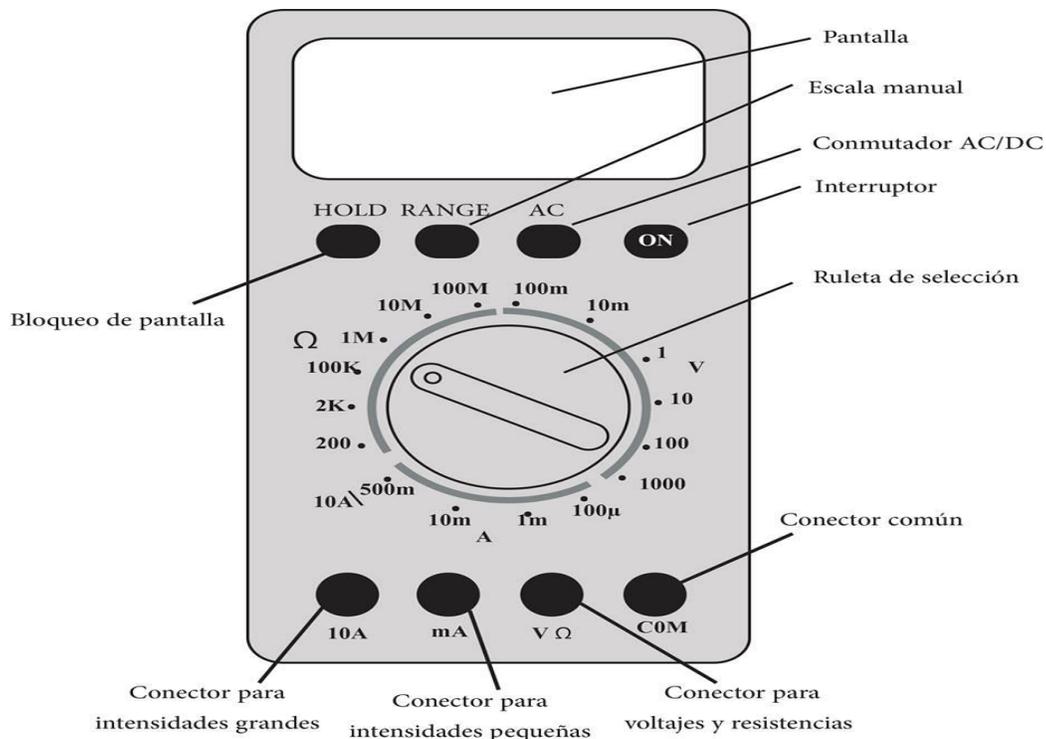


Figura 2. Vista frontal esquemática de un multímetro digital.

Fuente: El multímetro (s.f).

5. Electrodo.

Para medir el pH se utilizan dos tipos de electrodos y cada uno de ellos tiene un propósito específico; estos son:

- 1) El electrodo de referencia que no participa en ninguna reacción química o electroquímica en las condiciones de la medida.
- 2) El electrodo indicador cuya respuesta depende de la concentración del analito.

Los electrodos indicadores y de referencia separados solamente son de utilidad cuando tienen grandes diferencias en su vida estimada. En la práctica, el electrodo combinado es el más utilizado en la actualidad. En comparación con la configuración separada, es más fácil de usar. El electrodo indicador y el electrodo de referencia se combinan en una sola unidad con el electrodo combinado.

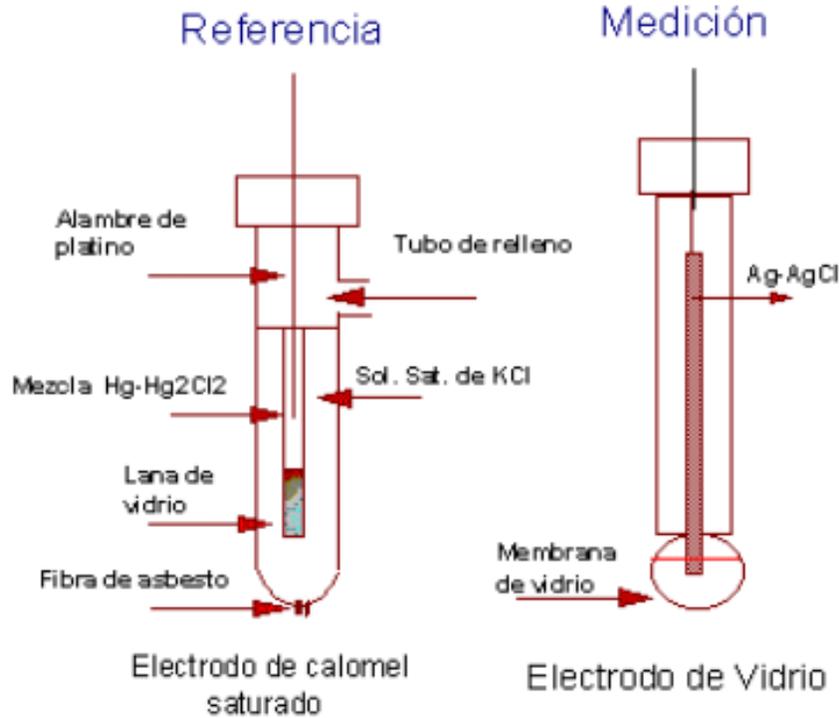


Figura 3. Esquema de los dos electrodos usados comúnmente para medir pH.

Fuente: (Bussi J., 2004).

5.1 Electrodo de referencia.

Los electrodos de referencia se caracterizan por presentar un potencial que es constante en el tiempo, no tiene ningún cambio y es independiente de la composición de la disolución del analito; es reversible y obedece la ecuación de Nernst.

Dos electrodos comúnmente usados son:

- Electrodos de referencia calomelanos. Las concentraciones de KCl (cloruro de potasio) empleadas habitualmente en estos electrodos de referencia son 0.1 M, 1 M, y saturada (casi 4.6 M). El más comúnmente usado es el ECS (Electrodo Calomelano Saturado).
- Electrodos de referencia de plata/cloruro de plata. Electrodo de plata sumergido en una disolución saturada en cloruro de potasio y cloruro de plata (6 a 7M).

5.2 Electrodo indicador.

Tiene un potencial que varía de manera conocida con la concentración del analito. Los electrodos indicadores para las medidas potenciométricas son de dos tipos fundamentales, denominados metálicos y de membrana (específicos ó selectivos para iones).

- Indicadores metálicos.
 - Electrodos de primera clase. Estos electrodos están formados por un metal puro que se encuentra en equilibrio directo con su catión en solución. (Ag^+/Ag^0 , $\text{Hg}_2^{2+}/\text{Hg}^0$, $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0$, etc.)
 - Electrodos indicadores metálicos de segunda clase. En estos electrodos, los metales no sólo responden hacia sus propios cationes; también tienen sensibilidad a la actividad de aniones que llegan a formar precipitados que son poco solubles o complejos que son estables con estos cationes.
 - Electrodos de tercera clase (Electrodo de mercurio para la determinación de calcio).
- Indicadores metálicos inertes para los sistemas redox (óxido-reducción) que son usados en materiales conductores inertes. Entre estos se encuentra el platino, oro, paladio y carbono.
- Indicadores de membrana.

El método más adecuado para determinar el pH consiste en medir el potencial que se genera a través de una delgada membrana de vidrio que separa dos soluciones con diferente concentración de ion hidrógeno. Actualmente se han desarrollado electrodos de membrana selectivos de iones. Existen electrodos de membrana cristalina de cristal simple y cristal policristalino; así mismo de membrana no cristalina de vidrio, líquidos y líquidos inmovilizados en polímeros rígidos, todos ellos con aplicaciones de acuerdo a su composición

6. Electropulido de metales.

El electropulido es un tratamiento superficial mediante el cual el metal se disuelve electrolíticamente, al ser pulido actúa como ánodo en una celda electrolítica. Con la aplicación de corriente, se forma una capa en la superficie metálica, permitiendo a los iones metálicos difundirse a través de dicha capa. Los puntos altos de la superficie rugosa, lo mismo que las 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 y nivelada. Simultáneamente, y bajo condiciones controladas de intensidad de corriente temperatura, tiene lugar un abrillantamiento de la superficie.

Electropulido (pulido electroquímico, 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, además 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 figura.4 (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".

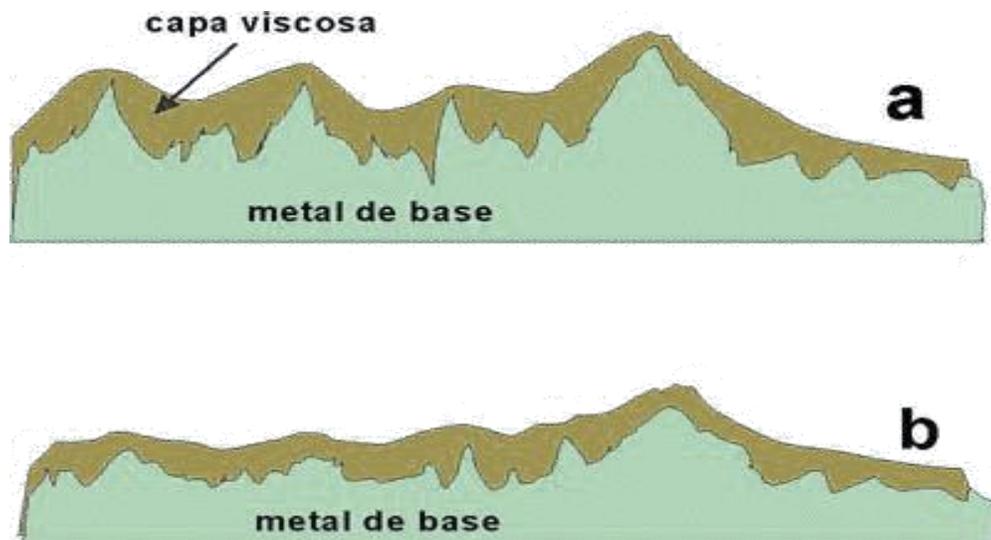


Figura 4. Electropulido.

Fuente: Alenka, 2010

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.

En la figura 5 en a, se puede apreciar una microfotografía de una superficie tratada con esmeril 180, aumentada 50 veces. En b, la misma superficie, después de electropulida. Se ve claramente la acción niveladora descrita en el esquema de la figura.1. La 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 d, la misma superficie electropulida muestra la ausencia de huecos con bordes definidos. En este tipo de terminación no podrán alojarse materiales extraños.

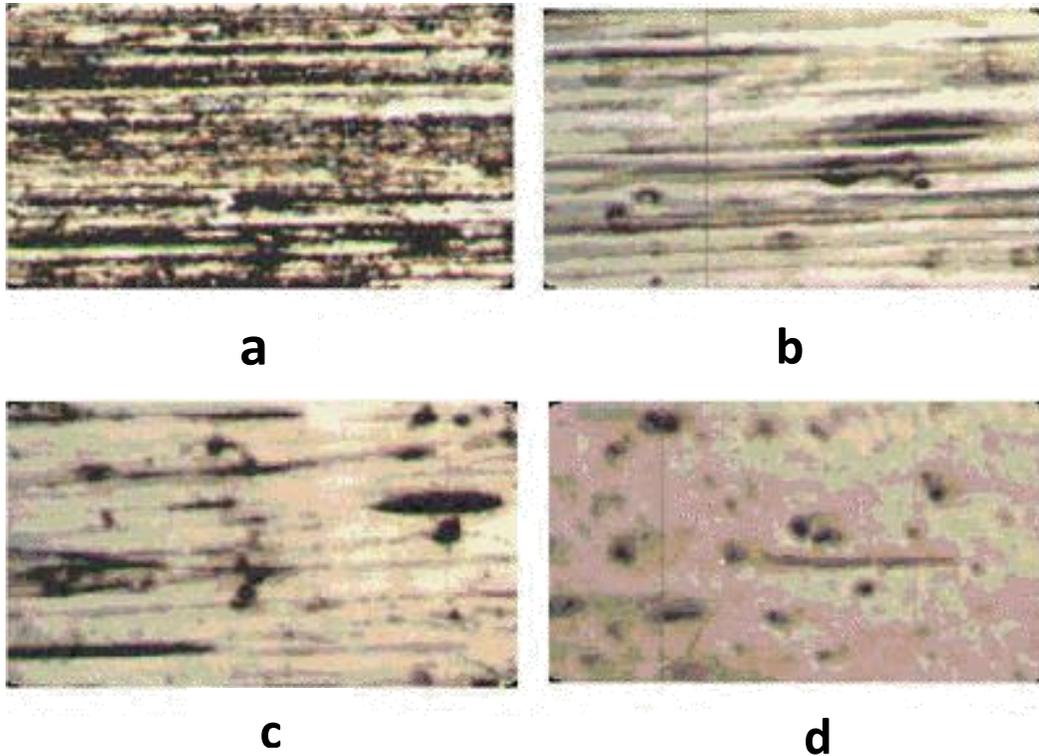


Figura 5. Microfotografía de proceso.

Fuente: Alenka, 2010.

Algunas ventajas del electropulido son (Alenka, 2010):

- Tratar piezas de forma irregular y de gran tamaño, en un tiempo corto y con gran ahorro de mano de obra.
- Aumentar la resistencia a la corrosión ya que el proceso permite eliminar las capas superficiales formadas por labores de laminación y pulido, dejando sobre la superficie terminada una capa de óxidos de hierro que le confiere una excelente pasividad en relación con numerosos reactivos químicos.
- Disminuir la tendencia en los líquidos y sólidos a adherirse a la superficie, mejorando los aspectos de limpieza y escurrido de las mismas, aspectos muy importantes en intercambiadores de calor, evaporadores, etc.
- Pulir piezas en las que el pulido mecánico resulta inaccesible. Esto es posible lograrlo en un solo tratamiento, proporcionando un aspecto uniforme en toda la superficie, lo cual sería difícil de lograr mediante métodos convencionales.

JUSTIFICACIÓN.

Como se sabe, para poder medir pH se necesita emplear dos tipos de electrodos, el de referencia y el indicador. Actualmente el electrodo indicador más efectivo, empleado en este tipo de mediciones, es el de vidrio, sin embargo, existen electrodos alternativos que teniendo la precisión de aquél, pueden reemplazarlo.

Anteriormente en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, en la sección de Química Analítica, se ha implementado la metodología para microvaloraciones potenciométricas, la cual está descrita en un artículo publicado en el año 2003 *“Potenciometría con volúmenes a nivel microescala en educación”* (Pérez, Rincón, 2003). Con nuevos avances, se publican nuevos artículos como el de *“Potenciometría de óxido reducción a microescala en docencia”* (Pérez, Rincón, & Hernández, 2011) y *“Construcción de un electrodo combinado posai-posai para microvaloraciones ácido-base”* (Pérez, Rincón & Tenorio 2013); estos artículos prueban que es posible reducir costos y riesgos en las valoraciones potenciométricas, además formar parte de la enseñanza en dichos laboratorios.

Aunque en estos trabajos existe la similitud de que se pretende tener una metodología alternativa para microvaloraciones potenciométricas lo que nosotras presentamos es una potenciometría sin potenciómetros y sin electrodos comerciales. La novedad de nuestro trabajo es que se utiliza un electrodo electropulido-electropulido como sistema indicador de pH además el uso de un multímetro para llevar a cabo la medición de potencial.

En este trabajo se presenta un estudio de mayor profundidad, ya que vamos desde la elaboración de un electrodo electropulido-electropulido; por lo que el nombre de este electrodo se debe a que tanto el electrodo indicador como el de referencia están electropulidos. Posteriormente se hacen microvaloraciones ácido base alternando este electrodo con uno comercial y utilizando un multímetro como alternativa económica comparada respecto a la técnica convencional utilizando un potenciómetro.

Por lo que el objetivo de este trabajo es encontrar una alternativa viable para llevar a cabo diferentes tipos de valoraciones potenciométricas en la sección de Química Analítica con el menor costo en equipos y residuos generados.

Cabe mencionar que es un proyecto propio de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

OBJETIVOS.

Objetivo general:

- Demostrar que es posible utilizar un multímetro en vez de un potenciómetro en microvaloraciones ácido base utilizando un electrodo E-E (Electropulido-Electropulido) para así poder equipar mejor y a un bajo costo los laboratorios de Química Analítica, así como disminuir los residuos generados.

Objetivos particulares:

1. Realizar microvaloraciones ácido-base utilizando un electrodo Electropulido-Electropulido y un electrodo convencional para comparar resultados.
2. Usar un multímetro como sustituto de un potenciómetro en microvaloraciones con el electrodo Electropulido-Electropulido.
3. Realizar un análisis de costos para demostrar que la fabricación y uso del electrodo Electropulido-Electropulido comparado con uno comercial es más económico.
4. Implementar el uso del electrodo Electropulido-Electropulido y del multímetro como sustituto del potenciómetro para la reducción de gastos en la sección de Química analítica así como disminuir los residuos generados.

Capítulo I

ELABORACIÓN DEL ELECTRODO ELECTROPULIDO-ELECTROPULIDO

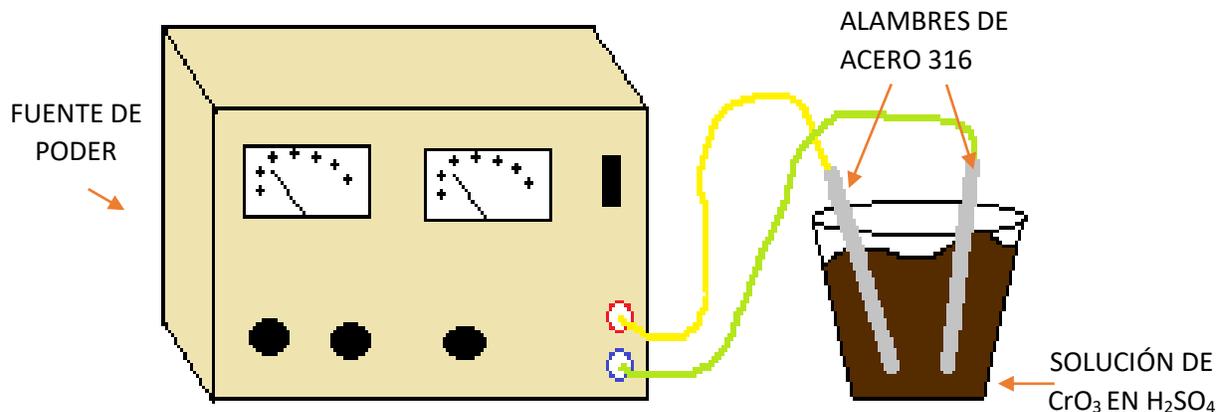


Figura 6. Diagrama del montaje experimental para llevar a cabo el electropulido del acero 316.

Fuente: Autoría propia.

Procedimiento experimental.

1. Se cortaron dos trozos de alambre acero 316 de 6 cm.
2. Se sumergieron los dos trozos de acero 316 en una solución de trióxido de cromo 2.5 M en H₂SO₄ 5 M, y con unos caimanes se conectaron tanto en ánodo como cátodo a una fuente de poder como se indica en la figura.
3. Se encendió la fuente de poder a 0.5 Amperios, se dejaron 20 minutos para que se lleve a cabo el pulido del alambre de acero.
4. Ya transcurridos los 20 minutos se observó el electropulido en ambos alambres, por lo que apagamos la fuente de poder y se retiraron los alambres de la solución de trióxido de cromo y se enjuagaron con agua destilada.
5. Ya enjuagados los alambres se dejaron reposar en una solución de Hidróxido de Sodio por 24 horas para que pudiera llevarse a cabo la hidratación de los electrodos.

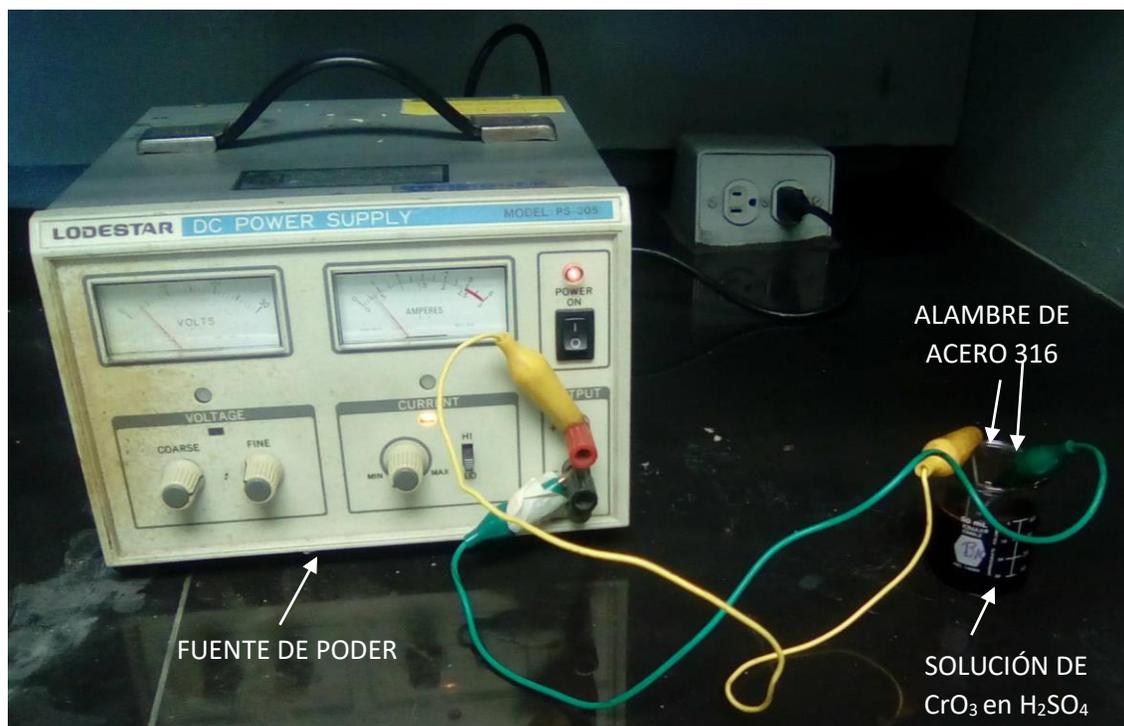


Figura 7. Montaje experimental utilizado para llevar acabo el electropulido del acero 316.

Fuente: Autoría propia.



Figura 8. Vaso con los electrodos electropulidos.

Fuente: Autoría propia.

Capítulo II

VALORACIÓN DE ÁCIDO FOSFÓRICO CON HIDROXIDO DE SODIO, UTILIZANDO LOS ELECTRODOS ELABORADOS

En esta primer etapa para poder hacer las valoraciones se utilizaron los electrodos electropulidos, el indicador lo sumergimos en la solución a valorar y el electrodo de referencia en una solución de KNO_3 y las unimos por medio de un puente de agar para que pueda llevarse a cabo la valoración.

Primero se hizo la comparación de los electrodos electropulidos respecto a un electrodo comercial para ver si es que estos funcionan de manera similar y después se realizaron nuevamente microvaloraciones pero ahora el electrodo electropulido-electropulido conectado a un multímetro y el electrodo de vidrio a un potenciómetro para poder ver si el multímetro respondía de manera parecida al potenciómetro.

Comparación de un electrodo comercial de vidrio con un electrodo electropulido-electropulido usando potenciómetro.

En esta etapa se utilizó el electrodo E-E y un electrodo comercial, para hacer la medición y poder comparar el potencial obtenido en cada uno para comprobar que funcionan de manera similar.

El montaje experimental se muestra a continuación:

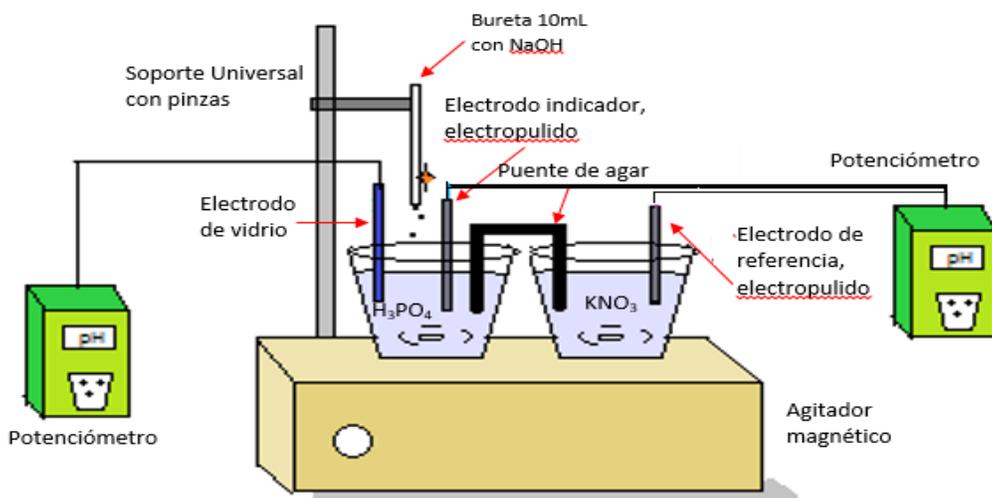
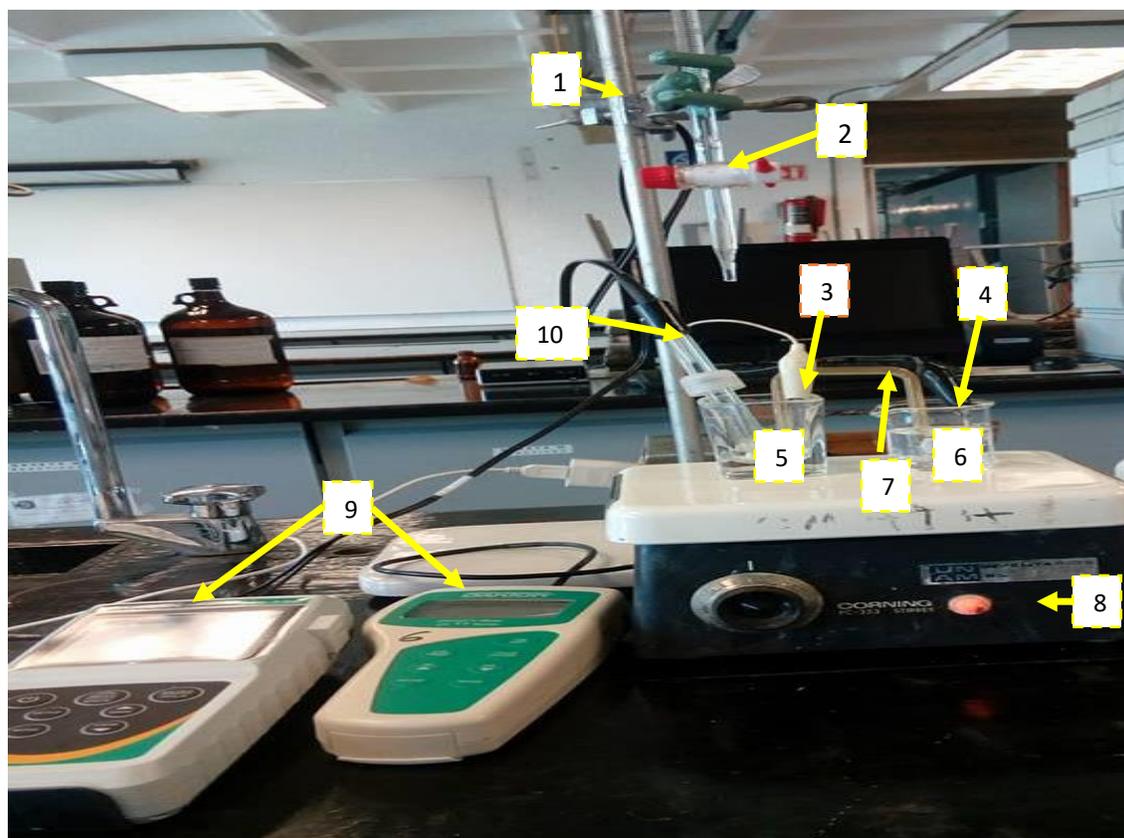


Figura 9. Diagrama del montaje experimental a utilizar para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH , a fin de comparar un electrodo comercial de vidrio con un electrodo electropulido-electropulido usando potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

Para llevar a cabo la valoración se tomó una alícuota de 6 ml de $[H_3PO_4]=0.010017M$ y se vertió en una copa tequilera. Para tomar las mediciones ambos electrodos se conectaron a un potenciómetro cada uno y se introdujo en la solución. La solución valorante es $[NaOH]=0.030278 M$, se colocó en la bureta y se fue agregando cada 0.25 ml hasta llegar a los 6 ml de volumen agregado.



1. Soporte Universal con pinzas
2. Bureta 10mL con NaOH
3. Electrodo indicador, electropulido
4. Electrodo de referencia, electropulido
5. Solución de H_3PO_4
6. Solución de KNO_3
7. Puente de agar
8. Agitador magnético
9. Potenciómetros
10. Electrodo de vidrio

Figura 10. Montaje experimental empleado para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH, a fin de comparar un electrodo comercial de vidrio con un electrodo electropulido-electropulido usando potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

Se realizaron cuatro corridas utilizando el potenciómetro para hacer las lecturas; con los datos obtenidos (Anexo 5.1, a) tanto de pH como de potencial de dichas corridas se saca el promedio para cada punto de volumen agregado y se hace una gráfica promedio de pH en función de volumen (figura 11) para el electrodo de vidrio combinado y otra de potencial en función de volumen (figura 12) para el electrodo E-E, las cuales se muestran a continuación.

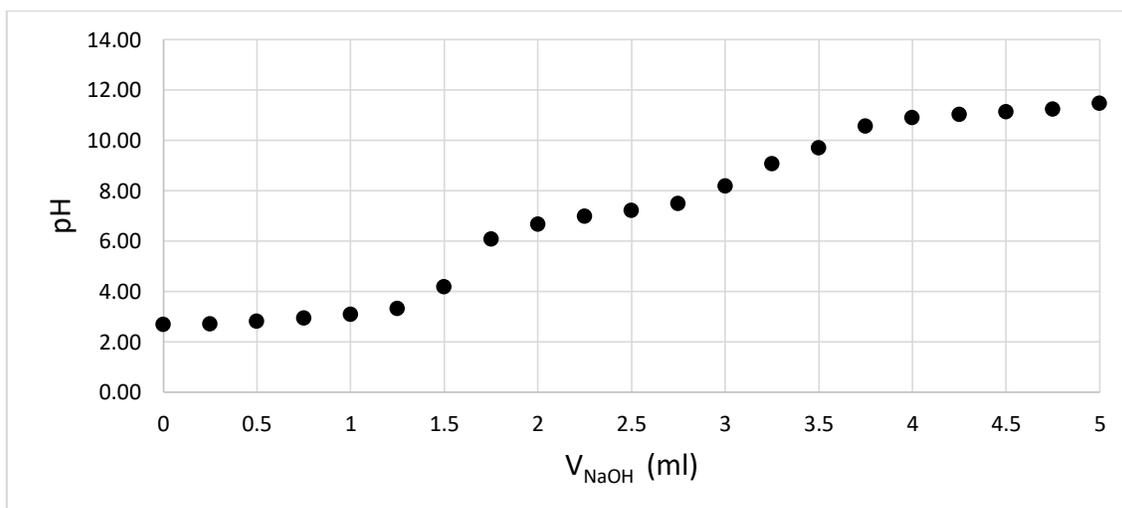


Figura 11. Curva promedio de cuatro valoraciones de H_3PO_4 [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo de vidrio combinado pH en función de volumen agregado usando potenciómetro.

Fuente: Autoría propia

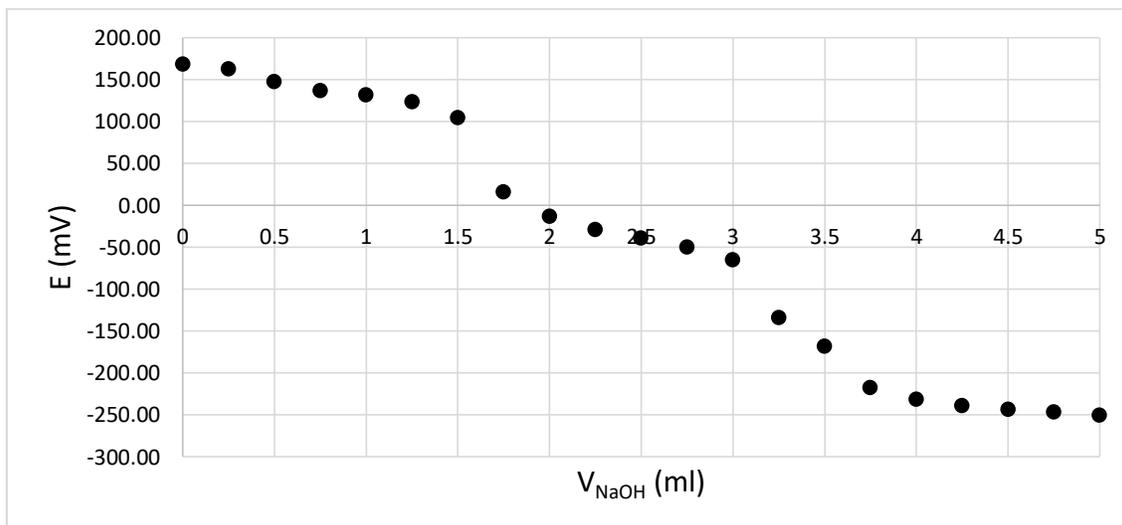


Figura 12. Curva promedio de cuatro valoraciones de H_3PO_4 [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo E-E, potencial en función de volumen agregado usando potenciómetro.

Fuente: Autoría propia

Una vez obtenidos los datos de la valoración en el laboratorio, lo primero que tenemos que hacer para aplicar el método de la primera derivada es calcular el cambio de potencial por unidad de volumen de valorante, es decir, $\Delta E/\Delta V$, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{E_1 - E_2}{V_1 - V_2} \dots\dots\dots (8)$$

Teniendo ya calculados los valores de $\Delta E/\Delta V$ a partir de los datos experimentales, el siguiente paso es representar $\Delta E/\Delta V$ en función del volumen de valorante, donde se obtiene una curva con un máximo que corresponde al punto de inflexión.

Para el electrodo de E-E se sacó un promedio de $\Delta E/\Delta V$ de las cuatro corridas y se graficó en función del volumen agregado (figura 13) dicho gráfico se muestra a continuación:

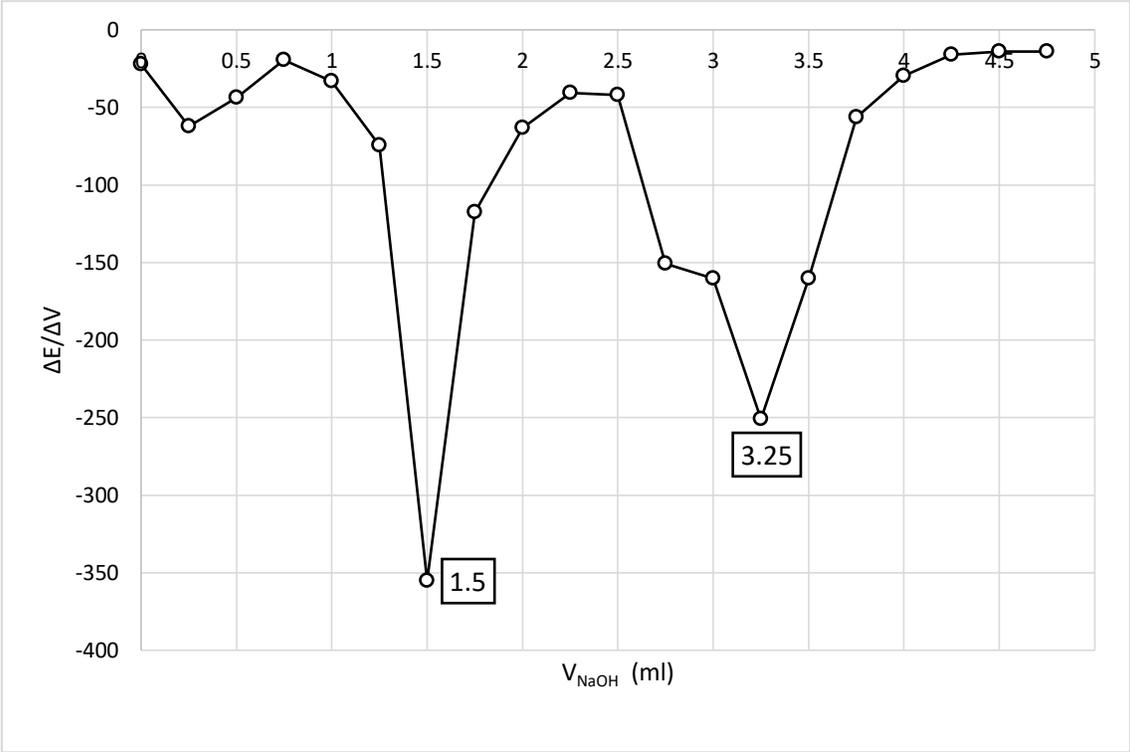


Figura 13. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H₃PO₄ con NaOH como valorante, para el electrodo E-E.

Fuente: Autoría propia

Para el electrodo de vidrio combinado se sacó un promedio de $\Delta\text{pH}/\Delta V$ de las cuatro corridas y se graficó en función del volumen agregado (figura 14), dicho gráfico se muestra a continuación:

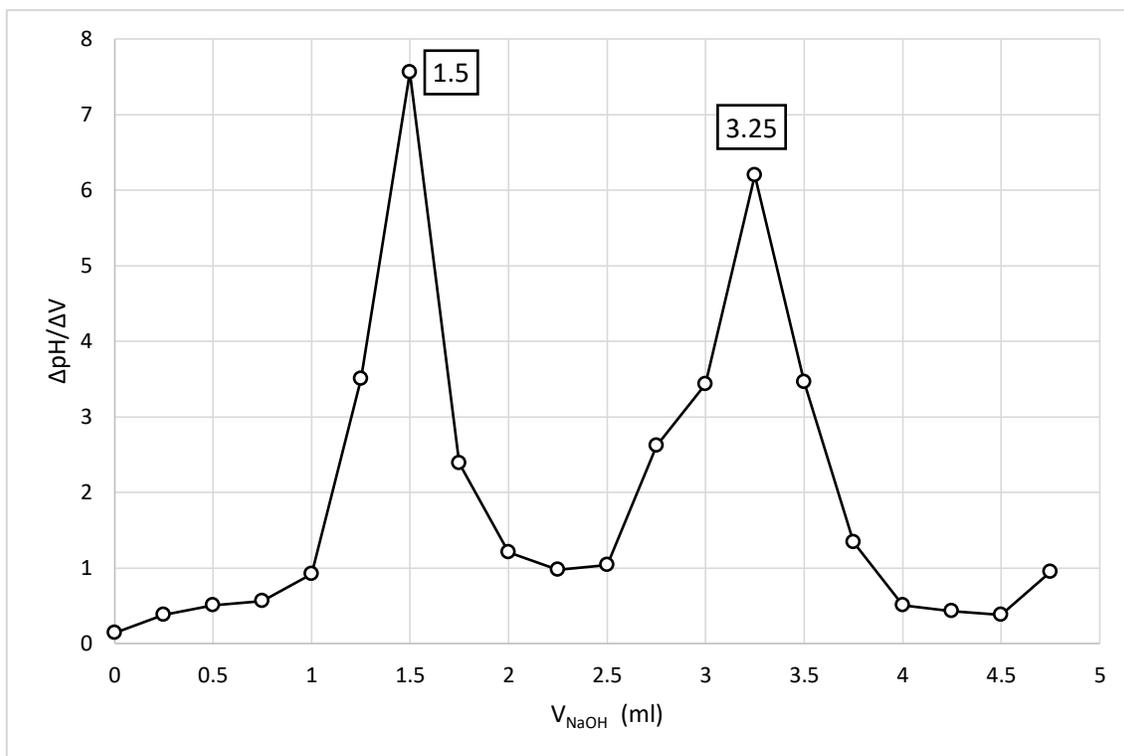


Figura 14. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H₃PO₄ con NaOH como valorante, para el electrodo de vidrio combinado.

Fuente: Autoría propia

Una vez realizada la gráfica tanto de $\Delta E/\Delta V$ como de $\Delta\text{pH}/\Delta V$ en función del volumen de valorante podemos observar el volumen de punto de equivalencia, tanto para el electrodo E-E como para el de vidrio combinado, podemos ver que estos se encuentran en 1.5 ml y 3.25 ml de volumen agregado (que es en donde se observan los puntos máximos de la curva) para ambos electrodos.

Haciendo estos gráficos para cada corrida podemos observar donde se encuentran los puntos de equivalencia y posteriormente realizamos una tabla comparativa de los volúmenes de punto de equivalencia de las cuatro corridas para ambos electrodos, utilizando potenciómetro. Dicha tabla se muestra a continuación:

CORRIDA	ELECTRODO DE VIDRIO		ELECTRODO E-E	
	PE 1	PE2	PE1	PE2
1	1.75	3	1.75	3
2	1.75	3.25	1.75	3.25
3	1.75	3.25	1.75	3.25
4	1.75	3.75	1.75	3.75
Media	1.75	3.3125	1.75	3.3125
Desv. Std	0	0.2724	0	0.2724
Varianza	0	0.0742	0	0.0742
Coef. Var (%)	0	8.22	0	8.22

Tabla 1. Comparación de volumen de punto de equivalencia en una valoración de H_3PO_4 con NaOH para el electrodo de vidrio y el electrodo electropulido-electropulido.

Fuente: Autoría propia.

Con esta tabla podemos observar que los puntos de equivalencia que se obtuvieron con el electrodo E-E son los mismos que se obtuvieron con el electrodo de vidrio combinado; por lo que podemos decir que el electrodo E-E trabaja de manera similar que el electrodo de vidrio por lo que es un buen sustituto de este.

Comparación de un multímetro con un potenciómetro.

En esta segunda etapa se realizaron microvaloraciones ácido-base utilizando un electrodo E-E y un electrodo de vidrio para medir el potencial; y se utilizó un multímetro y un potenciómetro para comparar los resultados obtenidos y comprobar que funcionan de la misma manera.

El montaje experimental es el que se muestra a continuación

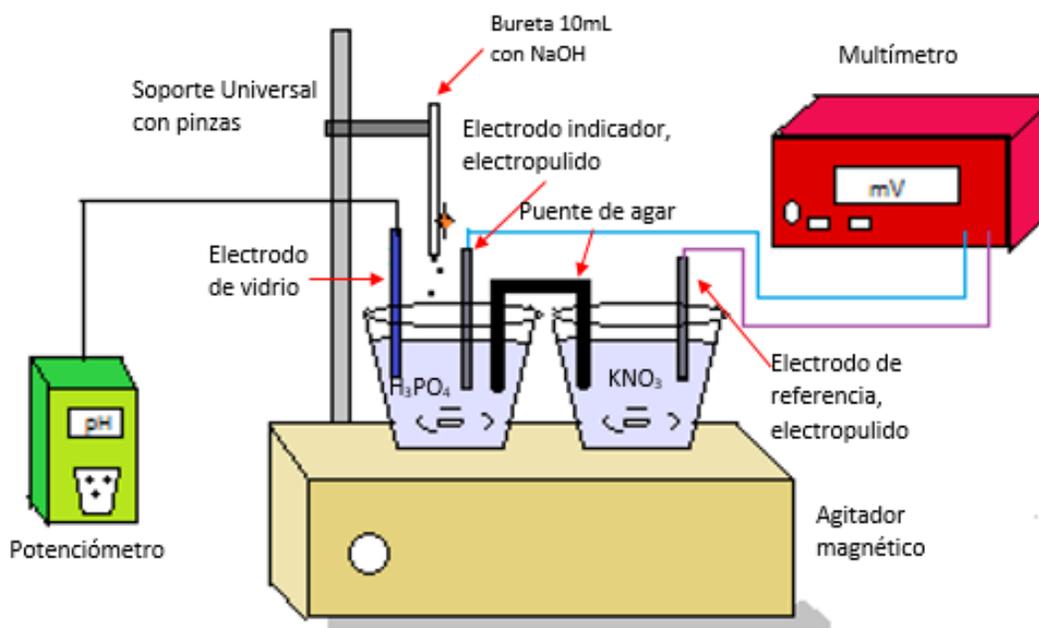
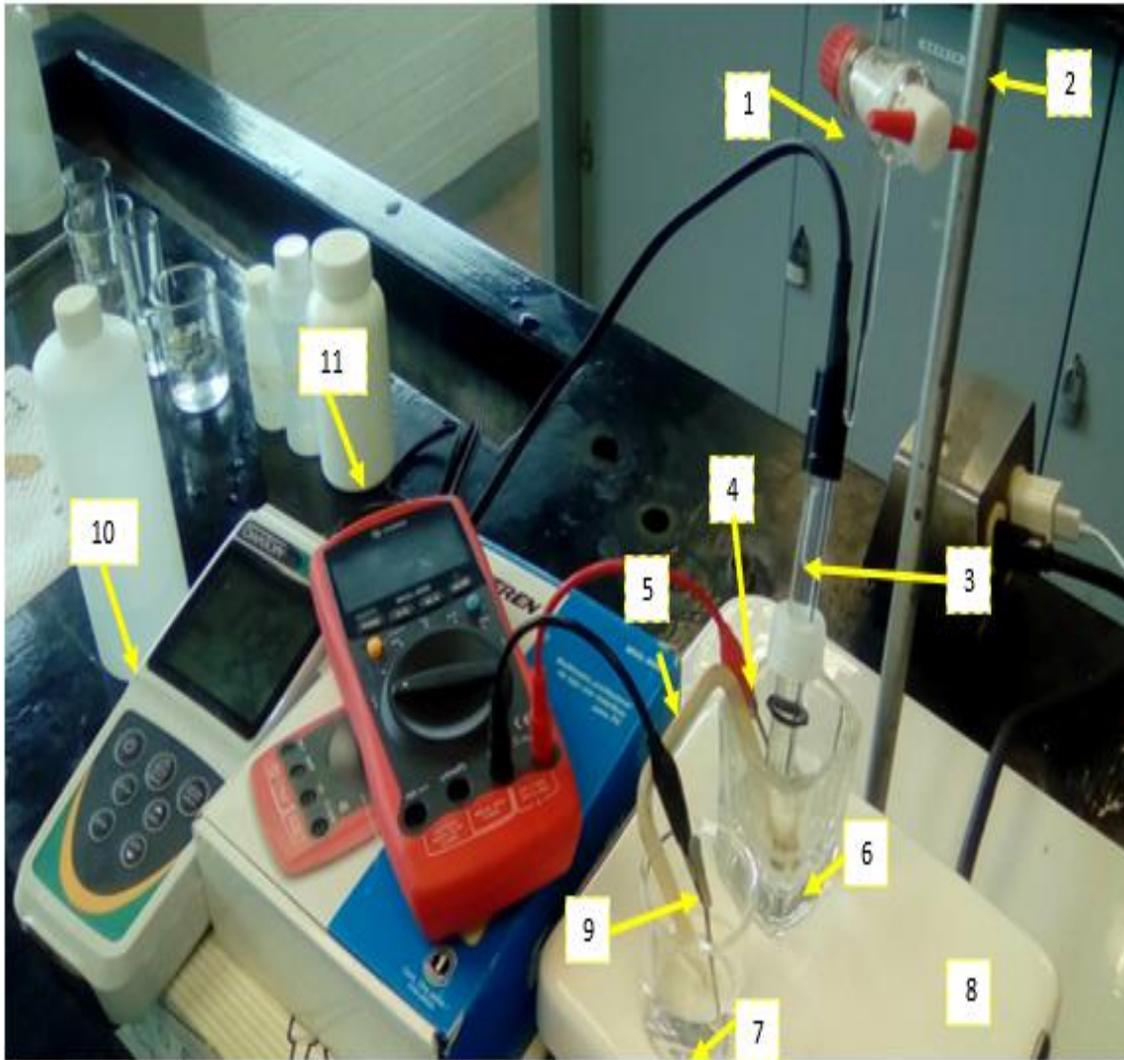


Figura 15. Diagrama del montaje experimental a utilizar para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH , a fin de comparar un multímetro con un potenciómetro.

Fuente: Autoría propia

Para llevar a cabo la valoración se tomó una alícuota de 6 ml de $[\text{H}_3\text{PO}_4]=0.010017\text{M}$ y se vertió en una copa tequilera. Para tomar las mediciones ambos electrodos se conectaron a un potenciómetro cada uno y se introdujeron en la solución. La solución valorante que es el $[\text{NaOH}]=0.030278\text{M}$ y se colocó en la bureta y se fue agregando cada 0.25 ml hasta llegar a los 6 ml de volumen agregado.



1. Bureta 10mL con NaOH
2. Soporte Universal con pinzas
3. Electrodo de vidrio
4. Electrodo indicador, electropulido
5. Puente de agar
6. H₃PO₄
7. KNO₃
8. Agitador magnético
9. Electrodo de referencia, electropulido
10. Potenciómetro
11. Multímetro

Figura 16. Montaje experimental empleado para realizar una valoración de H₃PO₄ con NaOH, a fin de comparar un multímetro con un potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

Se realizaron cuatro corridas y con los datos obtenidos (Anexo 5.1, b) se hace una gráfica tanto de pH como de potencial de dichas corridas, se saca el promedio para cada punto de volumen agregado y se hace una gráfica promedio de pH en función de volumen (figura 17) para el electrodo de vidrio combinado y otra de potencial en función de volumen (figura 18) para el electrodo E-E, las cuales se muestran a continuación.

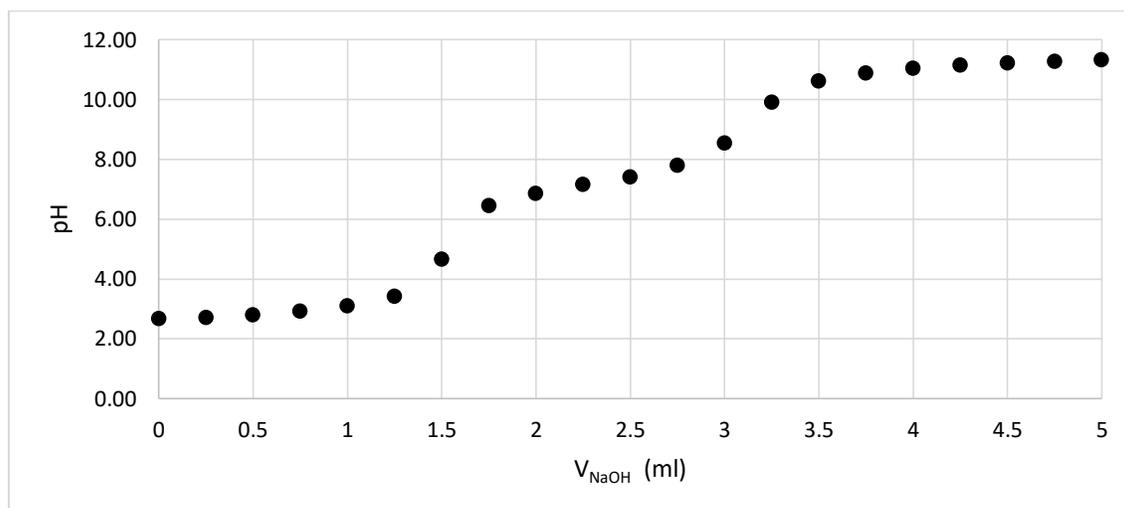


Figura 17. Curva promedio de cuatro valoraciones de H_3PO_4 [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo de vidrio combinado pH en función de volumen agregado usando potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

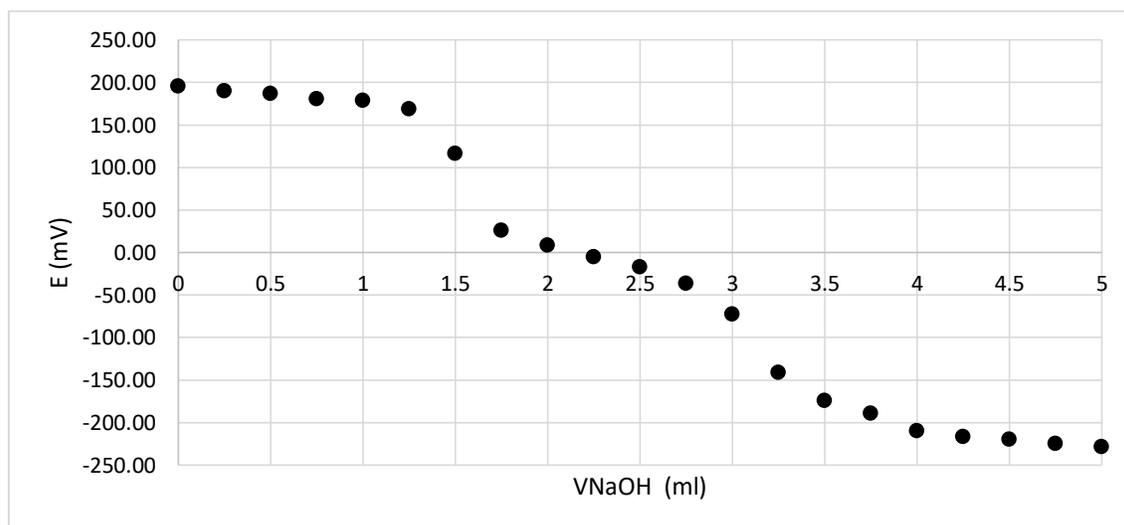


Figura 18. Curva promedio de cuatro valoraciones de H_3PO_4 [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando E-E, potencial en función de volumen agregado, usando un multímetro.

Fuente: Autoría propia.

Una vez obtenidos los datos de la valoración en el laboratorio, volvemos a aplicar el método de la primera derivada, calculando el cambio de potencial por unidad de volumen de valorante, es decir, $\Delta E/\Delta V$

Teniendo ya calculados los valores de $\Delta E/\Delta V$ a partir de los datos experimentales, el siguiente paso es representar $\Delta E/\Delta V$ en función del volumen de valorante, donde se obtiene una curva con un máximo que corresponde al punto de inflexión.

Para el electrodo de E-E se sacó un promedio de $\Delta E/\Delta V$ de las cuatro corridas y se graficó en función del volumen agregado (figura 19), dicho gráfico se muestra a continuación:

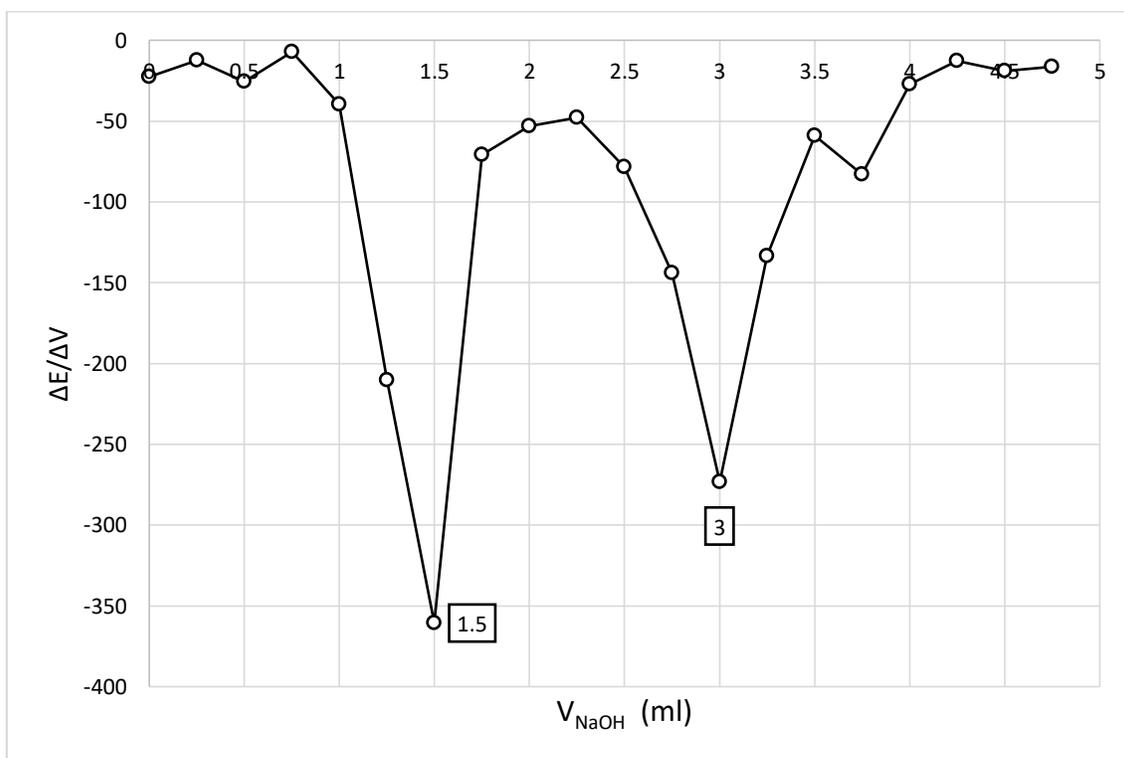


Figura 19. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo E-E usando un multímetro.

Fuente: Autoría propia.

Para el electrodo de vidrio combinado se sacó un promedio de $\Delta\text{pH}/\Delta\text{V}$ de las cuatro corridas y se graficó en función del volumen agregado (figura 20), dicho gráfico se muestra a continuación:

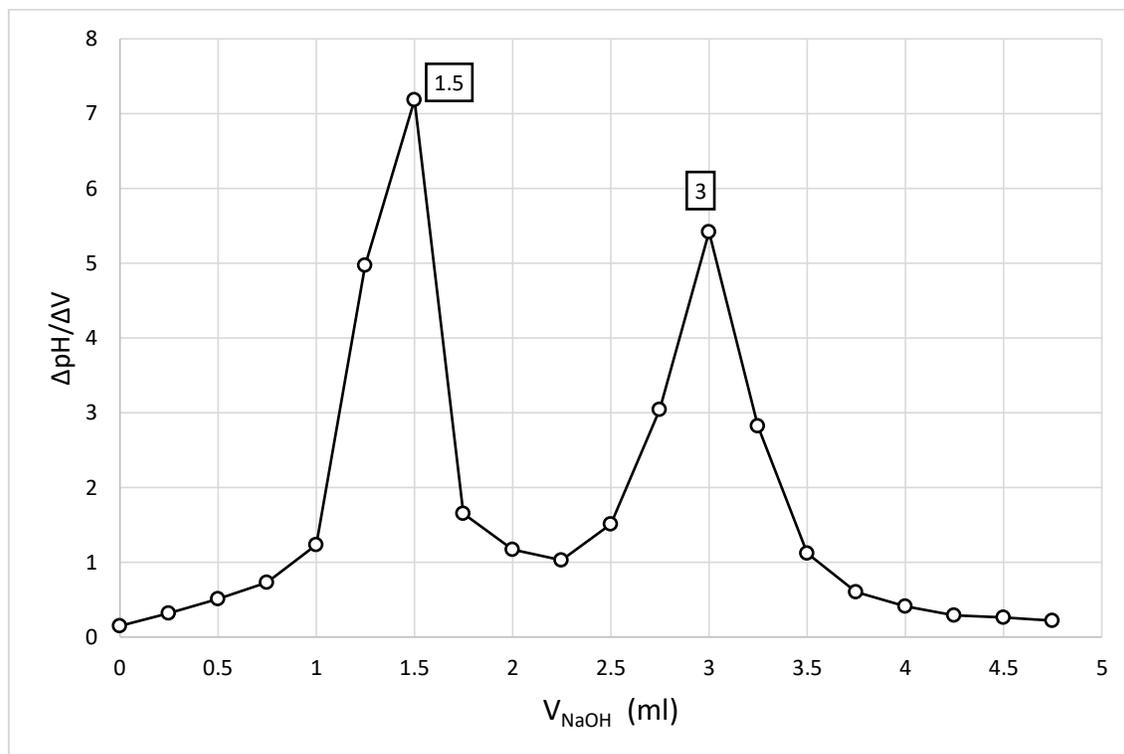


Figura 20. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo de vidrio combinado, usando potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

Una vez realizada la gráfica tanto de $\Delta E/\Delta V$ como de $\Delta\text{pH}/\Delta V$ en función del volumen de valorante podemos observar el volumen de punto de equivalencia, tanto para el electrodo E-E como para el de vidrio combinado que es en donde se observan los puntos máximos de la curva) para ambos electrodos.

Haciendo estos gráficos para cada corrida podemos observar donde se encuentran los puntos de equivalencia y posteriormente realizamos una tabla comparativa de los volúmenes de punto de equivalencia de las cuatro corridas para ambos electrodos, utilizando potenciómetro. Dicha tabla se muestra a continuación:

Realizamos una tabla comparativa de los volúmenes de punto de equivalencia de las tres corridas para ambos electrodos, la cual se muestra a continuación.

CORRIDA	ELECTRODO DE VIDRIO		ELECTRODO E-E	
	PE 1	PE2	PE1	PE2
1	1.75	3.25	1.75	3.25
2	1.75	3.25	1.75	3.25
3	1.5	3	1.5	3
4	1.5	3	1.5	3
Media	1.625	3.125	1.625	3.125
Desv. Std	0.125	0.125	0.125	0.125
Varianza	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156
Coef. Var (%)	7.69	4	7.69	4

Tabla 2. Comparación de volumen de punto de equivalencia para el electrodo de vidrio con potenciómetro y el electrodo electropulido-electropulido con multímetro.

Fuente: Autoría propia.

Con esta tabla podemos observar que los puntos de equivalencia que se obtuvieron con el electrodo E-E son los mismos que se obtuvieron con el electrodo de vidrio combinado; por lo que podemos decir que el electrodo E-E trabaja de manera similar que el electrodo de vidrio y que se puede utilizar el multímetro como sustituto del potenciómetro ya que tenemos una respuesta semejante en su comportamiento.

Capítulo III

VALORACIÓN DE ÁCIDO FOSFÓRICO CON HIDROXIDO DE SODIO, UTILIZANDO LOS ELECTRODOS E-E YA ECAPSULADOS.

En esta tercera etapa encapsulamos y unimos el electrodo electropulido indicador y el electrodo electropulido de referencia, y se hicieron las microvaloraciones para ver si funcionaban de manera correcta.

Comparación de un multímetro con un potenciómetro usando el E-E encapsulado

Se realizaron microvaloraciones ácido-base utilizando un electrodo E-E y un electrodo de vidrio para medir el potencial; utilizando un multímetro y un potenciómetro para comparar los resultados obtenidos y comprobar que funcionan de la misma manera.

El montaje experimental es el que se muestra a continuación:

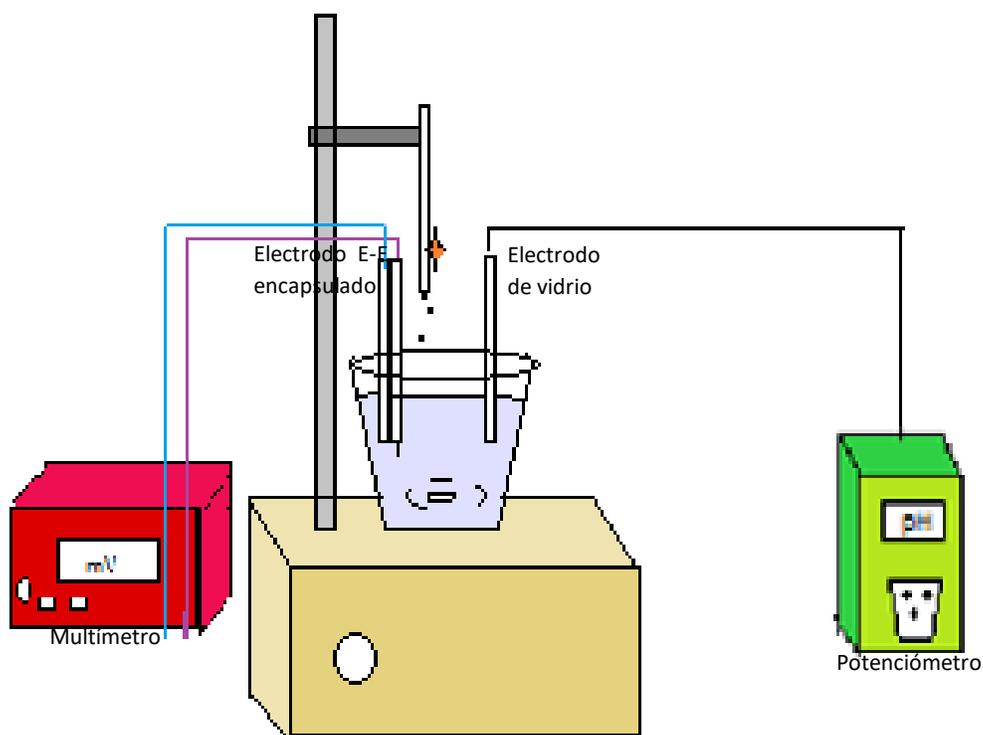
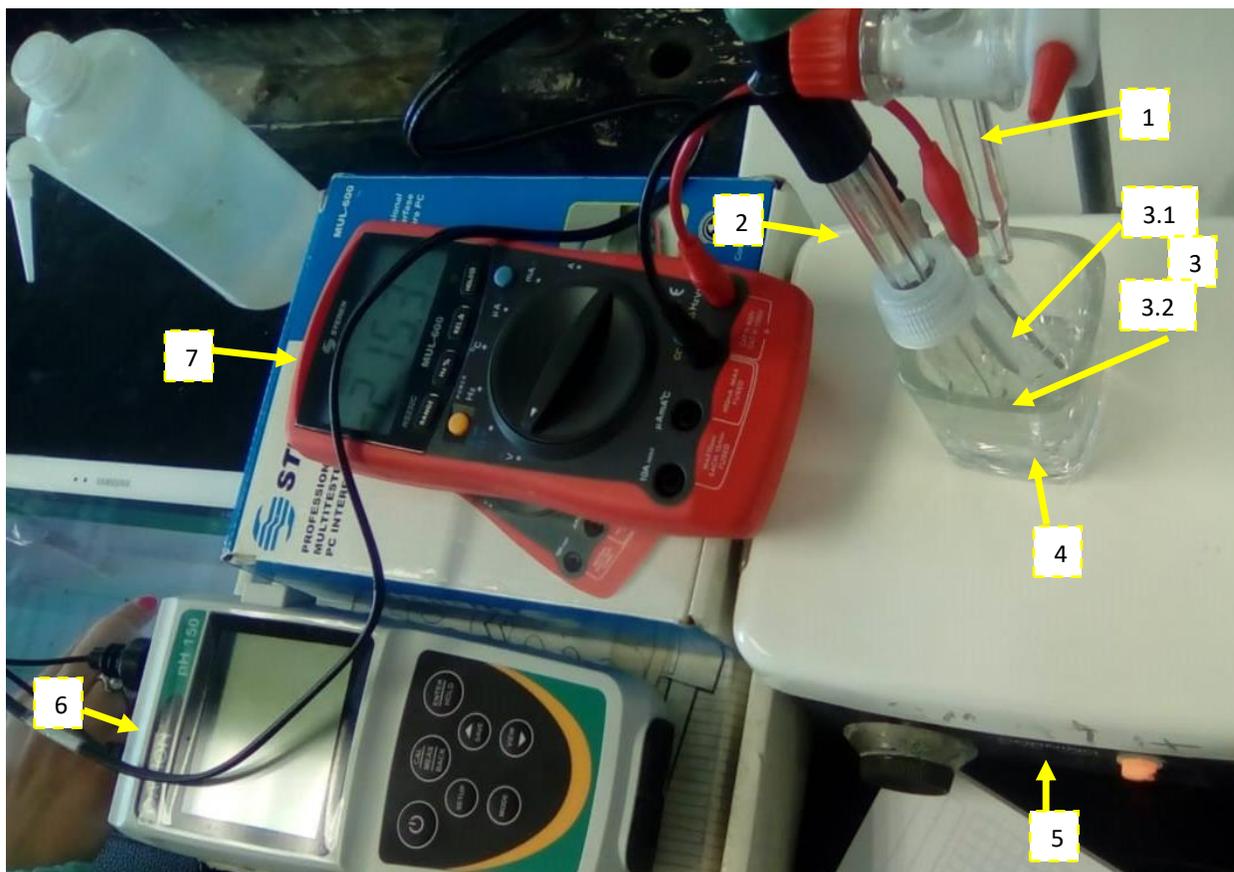


Figura 21. Diagrama del montaje experimental a utilizar para realizar una valoración de H_3PO_4 con $NaOH$, utilizando E-E encapsulado, a fin de comparar el multímetro con el potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

Para llevar a cabo la valoración se tomó una alícuota de 6 ml de $[H_3PO_4]=0.010017M$ y se vertió en una copa tequilera. Para tomar las mediciones ambos electrodos se conectaron a un potenciómetro cada uno y se introdujeron en la solución. La solución valorante que es el $[NaOH]=0.030278 M$ y se colocó en la bureta y se fue agregando cada 0.25 ml hasta llegar a los 6 ml de volumen agregado.



1. Bureta 10mL con NaOH
2. Electrodo de vidrio
3. Electrodo E-E encapsulado
 - 3.1 Indicador
 - 3.2 Referencia (KNO_3)
4. Solución H_3PO_4
5. Agitador magnético
6. Potenciómetro
7. Multímetro

Figura 22. Montaje experimental empleado para realizar una valoración de H_3PO_4 con $NaOH$, utilizando E-E encapsulado, a fin de comparar el multímetro con el potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

Se realizaron tres corridas y con los datos obtenidos (Anexo 5.2, a) se hace una gráfica tanto de pH como de potencial de dichas corridas, se saca el promedio para cada punto de volumen agregado y se hace una gráfica promedio de pH en función de volumen (figura 23) para el electrodo de vidrio combinado y otra de potencial en función de volumen (figura 24) para el electrodo E-E, las cuales se muestran a continuación.

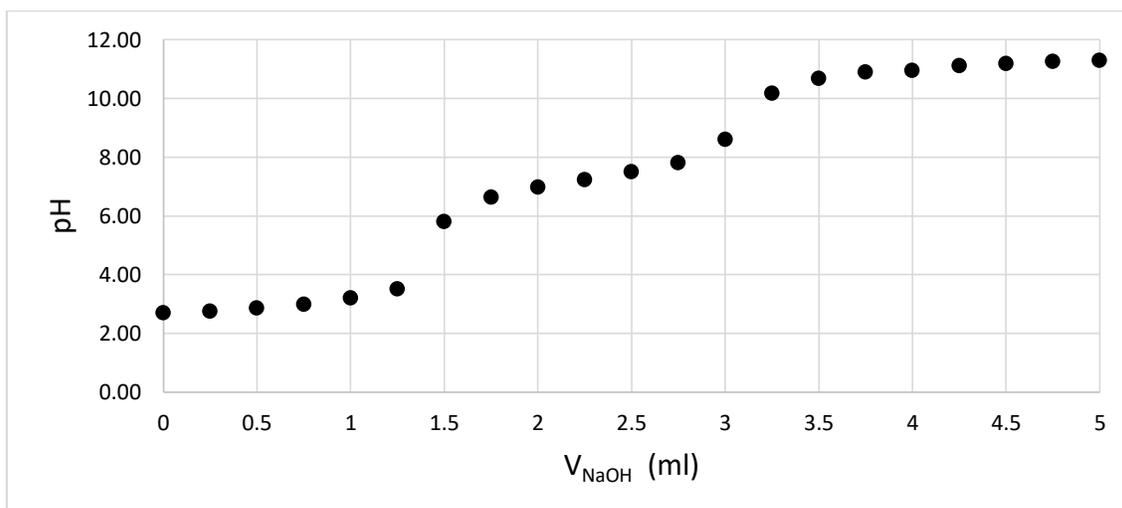


Figura 23 . Curva promedio de tres valoraciones de H₃PO₄ [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo de vidrio combinado pH en función de volumen agregado usando potenciómetro.

Fuente. Autoría propia.

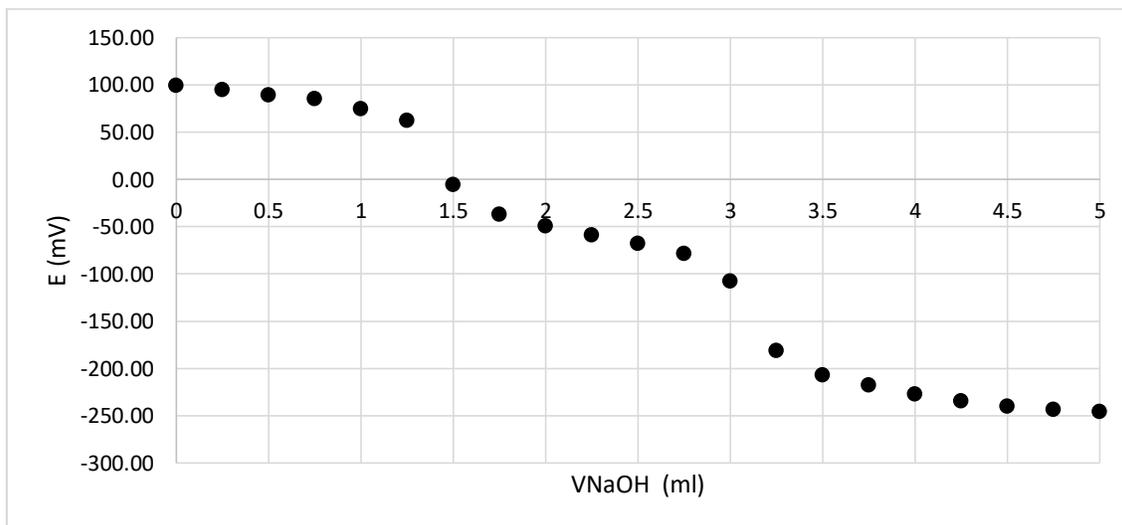


Figura 24. . Curva promedio de tres valoraciones de H₃PO₄ [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo E-E encapsulado, potencial en función de volumen agregado usando un multímetro.

Fuente: Autoría propia.

Una vez obtenidos los datos de la valoración en el laboratorio, volvemos a aplicar el método de la primera derivada, calculando el cambio de potencial por unidad de volumen de valorante, es decir, $\Delta E/\Delta V$

Teniendo ya calculados los valores de $\Delta E/\Delta V$ a partir de los datos experimentales, el siguiente paso es representar $\Delta E/\Delta V$ en función del volumen de valorante, donde se obtiene una curva con un máximo que corresponde al punto de inflexión.

Para el electrodo de E-E se sacó un promedio de $\Delta E/\Delta V$ de las tres corridas y se graficó en función del volumen agregado (figura 25), dicho gráfico se muestra a continuación:

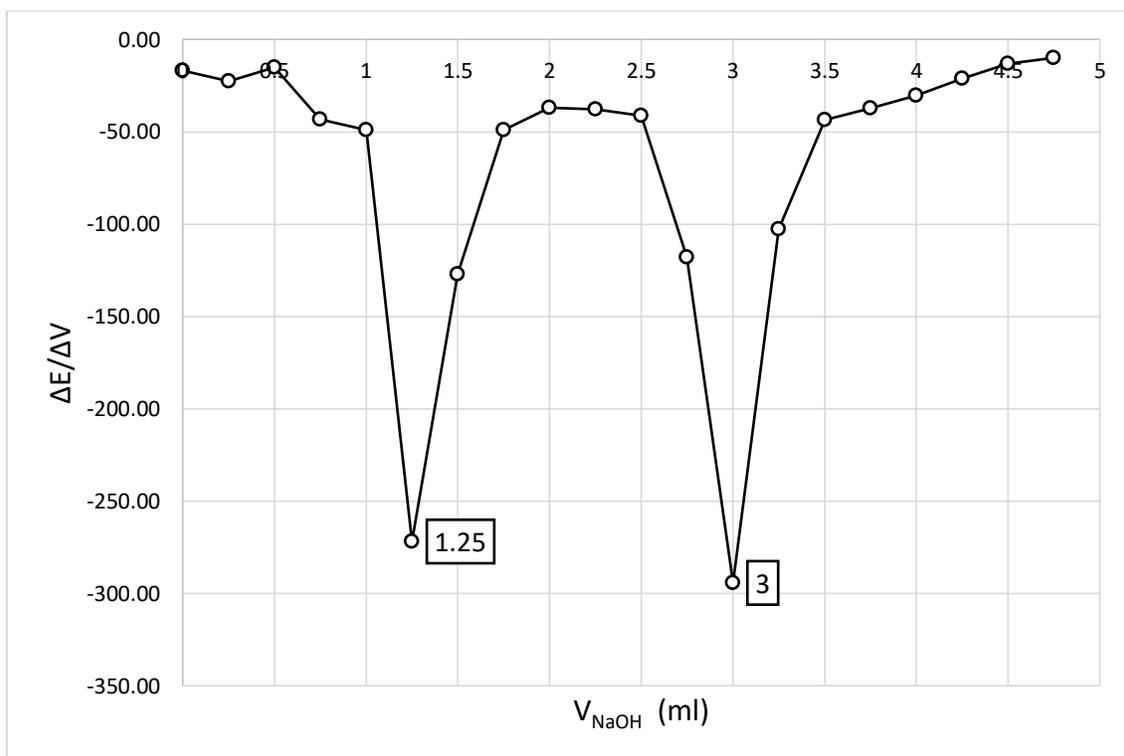


Figura 25. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo E-E usando un multímetro.

Fuente: Autoría propia.

Para el electrodo de vidrio combinado se sacó un promedio de $\Delta \text{pH}/\Delta V$ de las tres corridas y se graficó en función del volumen agregado (figura 26), dicho gráfico se muestra a continuación:

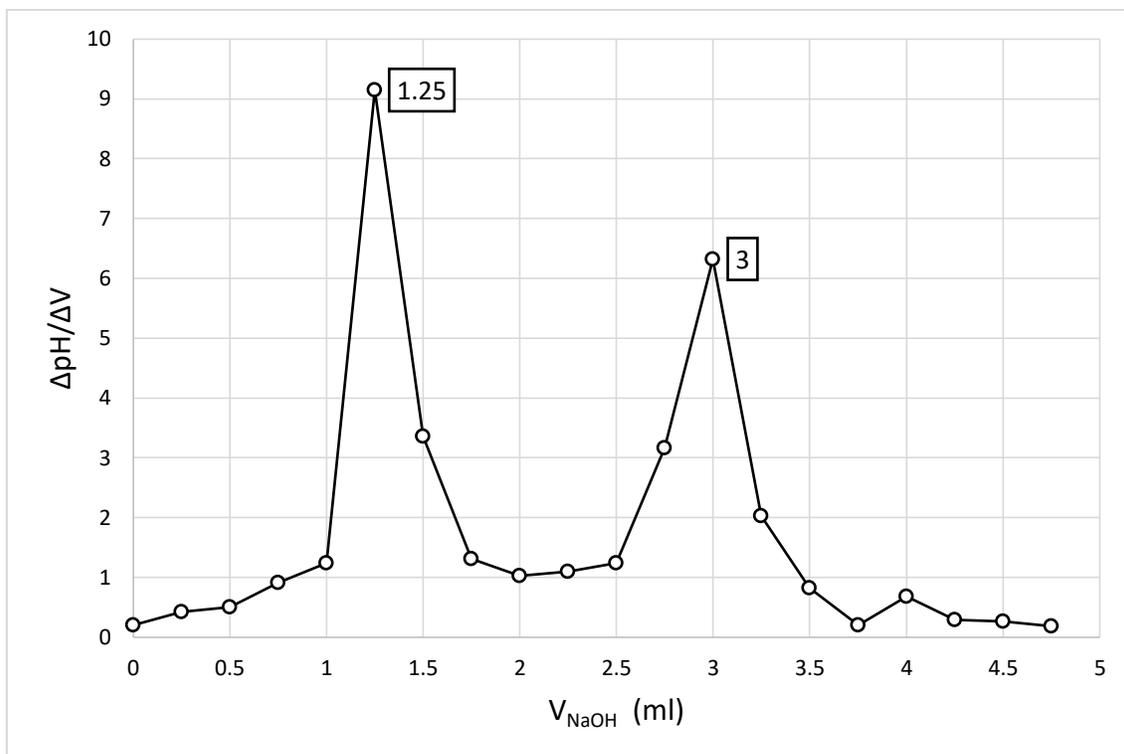


Figura 26. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H₃PO₄ con NaOH como valorante, para el electrodo de vidrio combinado, usando potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

Una vez realizada la gráfica tanto de $\Delta E/\Delta V$ como de $\Delta pH/\Delta V$ en función del volumen de valorante podemos observar el volumen de punto de equivalencia, tanto para el electrodo E-E como para el de vidrio combinado se encuentra a los 1.25 ml y 3 ml de volumen agregado (que es en donde se observan los puntos máximos de la curva) para ambos electrodos.

Haciendo estos gráficos para cada corrida podemos observar donde se encuentran los puntos de equivalencia y posteriormente realizamos una tabla comparativa de los volúmenes de punto de equivalencia de las cuatro corridas para ambos electrodos, utilizando potenciómetro. Dicha tabla se muestra a continuación:

Realizamos una tabla comparativa de los volúmenes de punto de equivalencia de las tres corridas para ambos electrodos, la cual se muestra a continuación.

CORRIDA	ELECTRODO DE VIDRIO		ELECTRODO E-E	
	PE 1	PE2	PE1	PE2
1	1.5	3.25	1.5	3.25
2	1.5	3.25	1.5	3.25
3	1.5	3.25	1.5	3.25
Media	1.5	3.25	1.5	3.25
Desv. std	0	0	0	0
Varianza	0	0	0	0
Coef. Var (%)	0	0	0	0

Tabla 3. Comparación de volumen de punto de equivalencia para el electrodo de vidrio y el electrodo electropulido-electropulido encapsulado.

Fuente: Autoría propia.

Con esta tabla podemos observar que los puntos de equivalencia que se obtuvieron con el electrodo E-E encapsulado son los mismos que se obtuvieron con el electrodo de vidrio combinado; por lo que podemos decir que el electrodo E-E encapsulado trabaja de manera similar que el electrodo de vidrio y que se puede utilizar el multímetro como sustituto del potenciómetro ya que tenemos una respuesta semejante en su comportamiento.

Capítulo IV

VALORACIÓN DE ÁCIDO FOSFÓRICO CON HIDROXIDO DE SODIO, UTILIZANDO LOS ELECTRODOS E-E ECAPSULADOS Y CON CONEXIONES.

En esta etapa posterior al encapsulado de los electrodos y ya comprobando que estos den una respuesta satisfactoria; se procedió a hacer las conexiones del electrodo.

Después de ponerle las conexiones al electrodo E-E se hicieron nuevamente valoraciones de H_3PO_4 con NaOH , primero con un potenciómetro para comprobar que el electrodo E-E funciona de manera similar al electrodo de vidrio y después se realizaron las valoraciones pero utilizando un multímetro para así comparar su funcionamiento con respecto al potenciómetro y ver si es posible que este sirva como su sustituto.

Comparación de un electrodo comercial de vidrio con un electrodo electropulido-electropulido usando potenciómetro.

Se realizaron microvaloraciones ácido-base utilizando un electrodo E-E ya con sus conexiones y un electrodo de vidrio; para medir el potencial se utilizaron dos potenciómetros, uno para cada electrodo, ya teniendo los resultados se comparan para ver si es que ambos electrodos funcionan de la misma manera.

El montaje experimental es el que se muestra a continuación

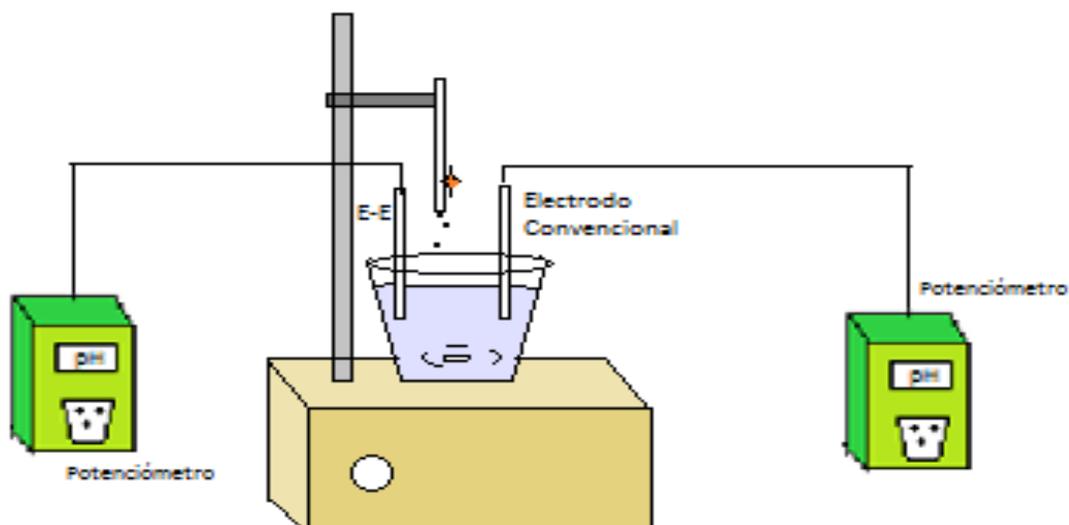
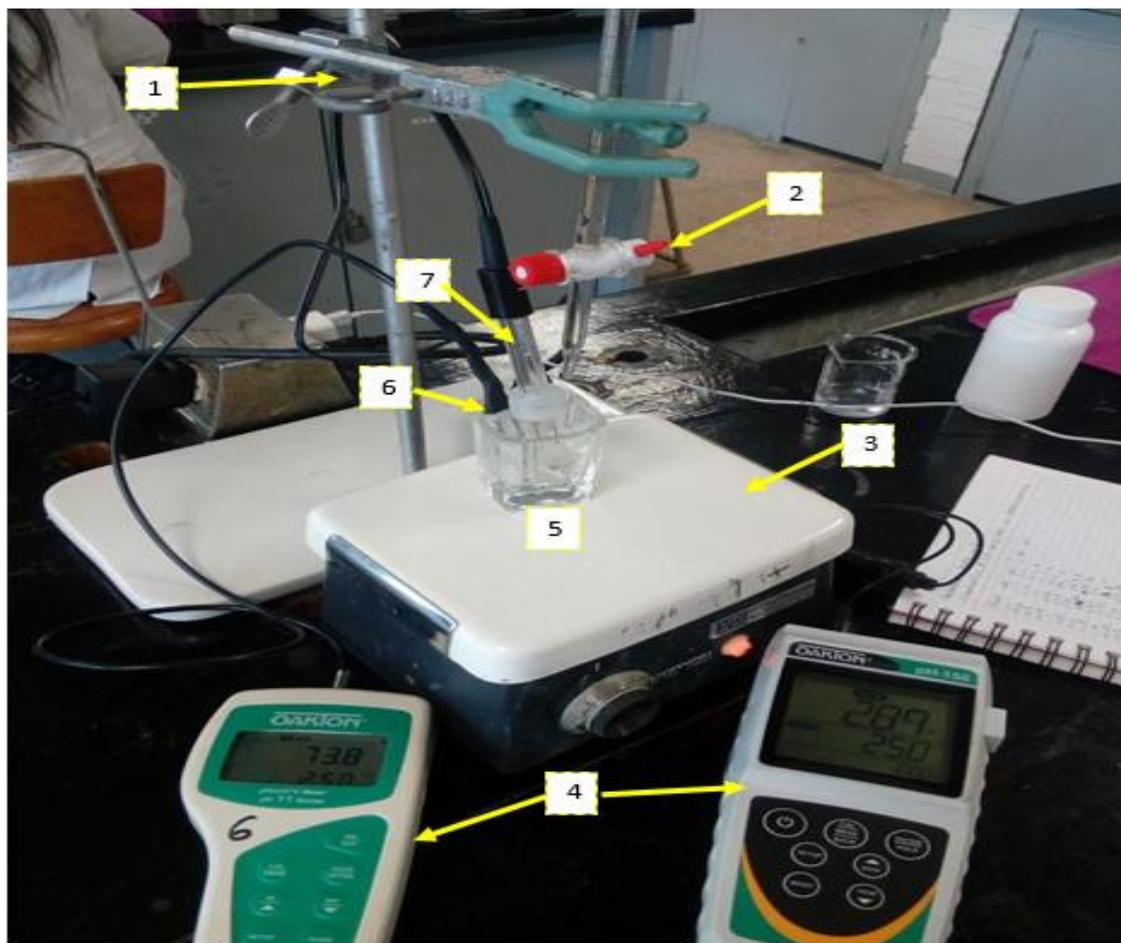


Figura 27. Diagrama del montaje experimental a utilizar para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH , a fin de comparar un electrodo comercial de vidrio con un electrodo E-E con conexiones, usando potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

Para llevar a cabo la valoración se siguió el mismo procedimiento que en las etapas anteriores. Se tomó una alícuota de 6 ml de $[H_3PO_4]=0.010017M$ y se vertió en una copa tequilera. Para tomar las mediciones ambos electrodos se conectaron a un potenciómetro cada uno y se introdujeron en la solución. La solución valorante que es el $[NaOH]=0.030278 M$ y se colocó en la bureta y se fue agregando cada 0.25 ml hasta llegar a los 6 ml de volumen agregado.



1. Soporte Universal con pinzas
2. Bureta 10mL con NaOH
3. Agitador magnético
4. Potenciómetros
5. Solución H_3PO_4 a valorar
6. Electrodo E-E encapsulado
7. Electrodo de vidrio

Figura 28. Montaje experimental empleado para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH, a fin de comparar el electrodo E-E encapsulado y el electrodo de vidrio, utilizando potenciómetros.

Fuente: Autoría propia.

Se realizaron cinco corridas utilizando el potenciómetro para hacer las lecturas; con los datos obtenidos (Anexo 5.3, a) tanto de pH como de potencial de dichas corridas se saca el promedio para cada punto de volumen agregado y se hace una gráfica promedio de pH en función de volumen (figura 29) para el electrodo de vidrio combinado y otra de potencial en función de volumen (figura 30) para el electrodo E-E, las cuales se muestran a continuación.

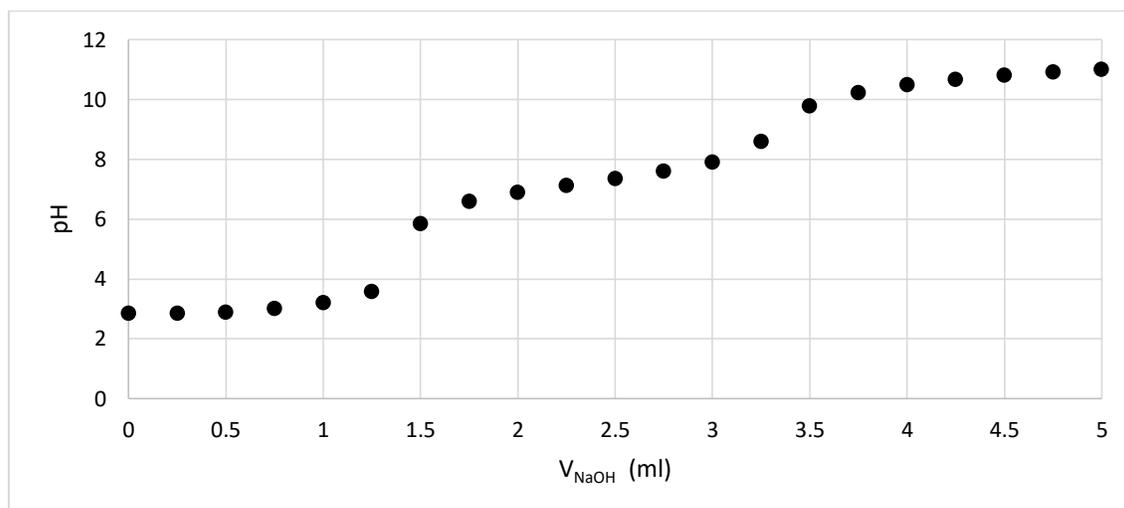


Figura 29. Curva promedio de cinco valoraciones de H₃PO₄ [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo de vidrio combinado, pH en función de volumen agregado usando potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

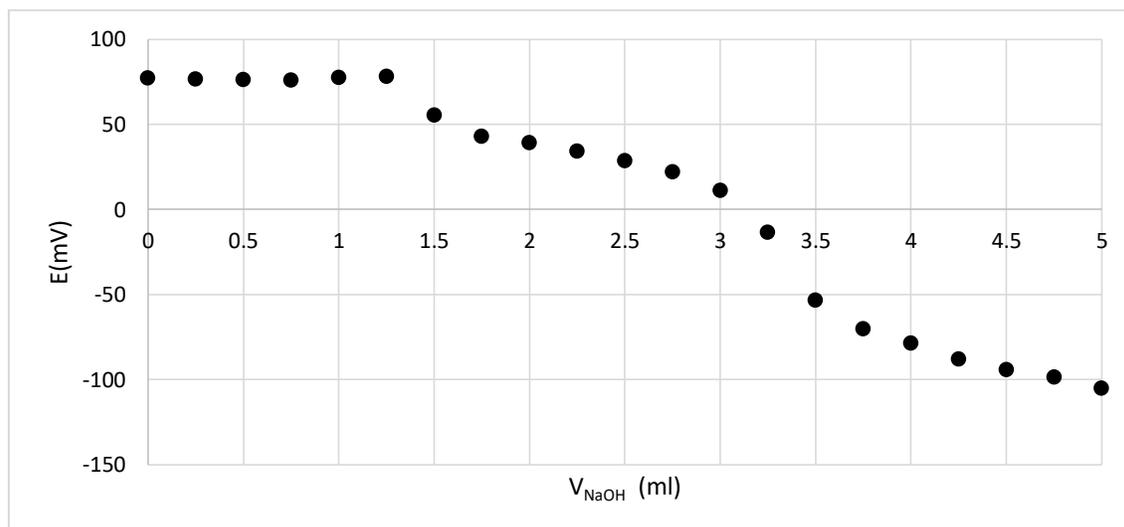


Figura 30. Curva promedio de cinco valoraciones de H₃PO₄ [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo E-E c/conexión, potencial en función de volumen agregado usando un potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

Una vez obtenidos los datos de la valoración en el laboratorio, volvemos a aplicar el método de la primera derivada, calculando el cambio de potencial por unidad de volumen de valorante, es decir, $\Delta E/\Delta V$

Teniendo ya calculados los valores de $\Delta E/\Delta V$ a partir de los datos experimentales, el siguiente paso es representar $\Delta E/\Delta V$ en función del volumen de valorante, donde se obtiene una curva con un máximo que corresponde al punto de inflexión.

Para el electrodo de E-E se sacó un promedio de $\Delta E/\Delta V$ de las corridas y se graficó en función del volumen agregado (figura 31), dicho gráfico se muestra a continuación:

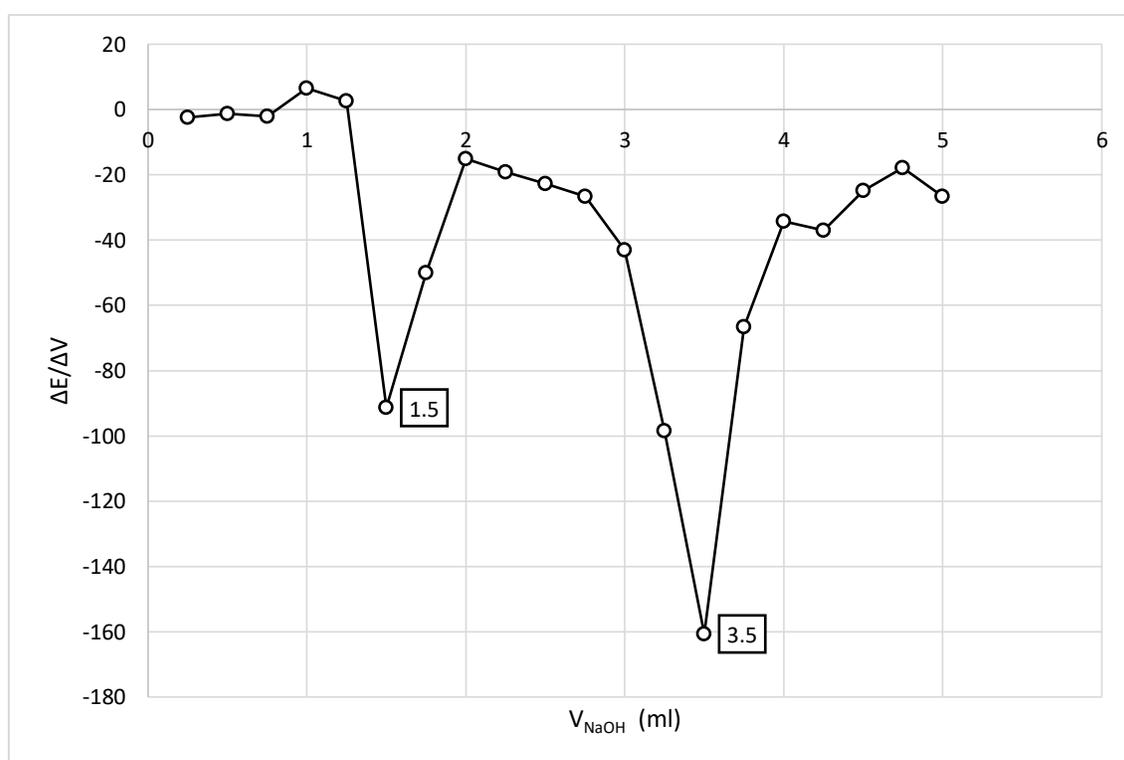


Figura 31. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo E-E usando un potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

Para el electrodo de vidrio combinado se sacó un promedio de $\Delta \text{pH}/\Delta V$ de las corridas y se graficó en función del volumen agregado (figura 32), dicho gráfico se muestra a continuación:

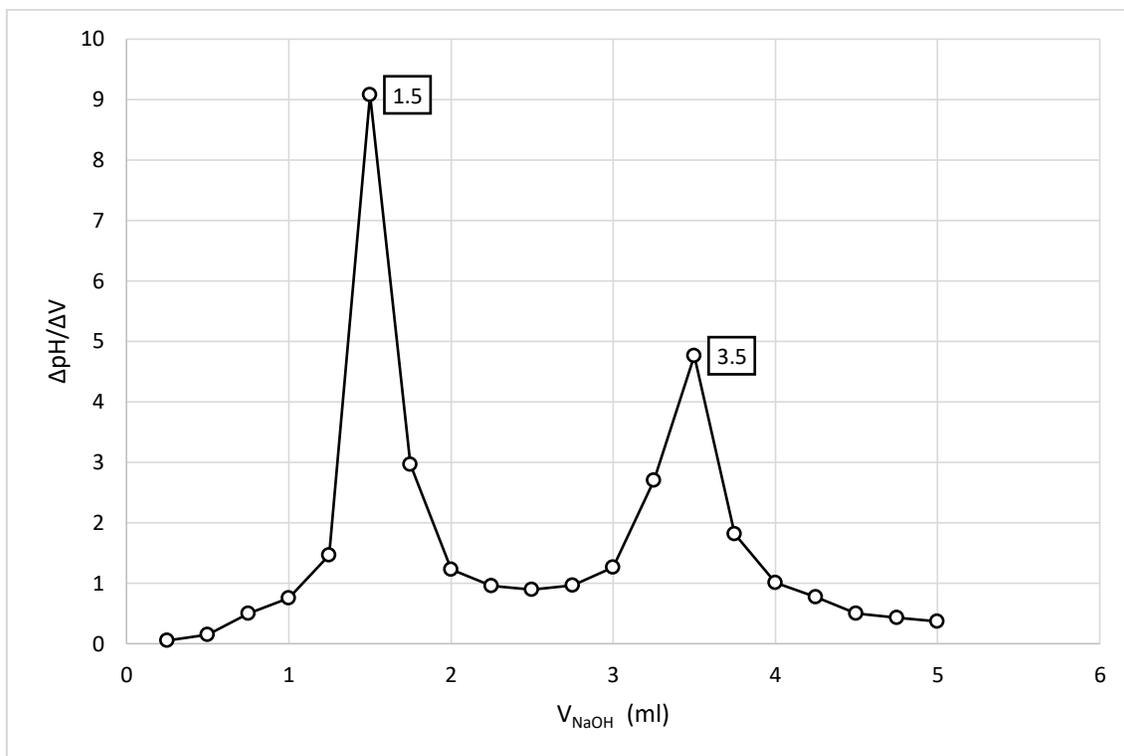


Figura 32. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H₃PO₄ con NaOH como valorante, para el electrodo de vidrio combinado, usando potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

Una vez realizada la gráfica tanto de $\Delta E/\Delta V$ como de $\Delta pH/\Delta V$ en función del volumen de valorante podemos observar el volumen de punto de equivalencia, tanto para el electrodo E-E como para el de vidrio combinado se encuentra a los 1.5 ml y 3.5 ml de volumen agregado (que es en donde se observan los puntos máximos de la curva) para ambos electrodos.

Haciendo estos gráficos para cada corrida podemos observar donde se encuentran los puntos de equivalencia y posteriormente realizamos una tabla comparativa de los volúmenes de punto de equivalencia de las dos corridas para ambos electrodos, utilizando potenciómetro. Dicha tabla se muestra a continuación:

CORRIDA	ELECTRODO DE VIDRIO		ELECTRODO E-E	
	PE 1	PE2	PE1	PE2
1	1.5	3.25	1.75	3.25
2	1.5	3.5	1.5	3.5
3	1.5	3.5	1.5	3.5
4	1.5	3.5	1.5	3.5
5	1.5	3.5	1.5	3.5
Media	1.5	3.45	1.55	3.45
Desv. std	0	0.099	0.1	0.099
Varianza	0	0.0099	0.01	0.0099
Coef. Var (%)	0	2.86	6.45	2.86

Tabla 4. Comparación de volumen de punto de equivalencia para el electrodo de vidrio y el electrodo electropulido-electropulido encapsulado con conexión.

Fuente: Autoría propia.

Con esta tabla podemos observar que los puntos de equivalencia que se obtuvieron con el electrodo E-E c/conexión son los mismos que se obtuvieron con el electrodo de vidrio combinado; por lo que podemos decir que el electrodo E-E encapsulado y con conexiones trabaja de manera similar que el electrodo de vidrio.

Comparación de un multímetro con un potenciómetro, utilizando E-E encapsulado y con conexiones.

Se realizaron microvaloraciones ácido-base utilizando el electrodo E-E encapsulado y con su conexión y un electrodo de vidrio, para hacer las mediciones se utilizará un multímetro y un potenciómetro, se compararán los resultados obtenidos para comprobar que funcionan de la misma manera.

El montaje experimental es el que se muestra a continuación

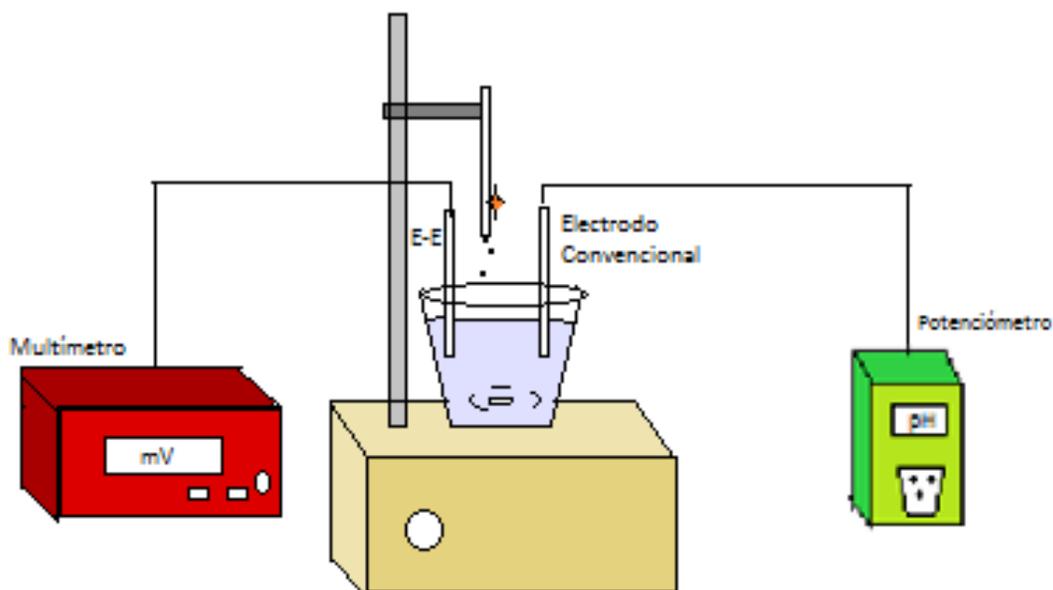
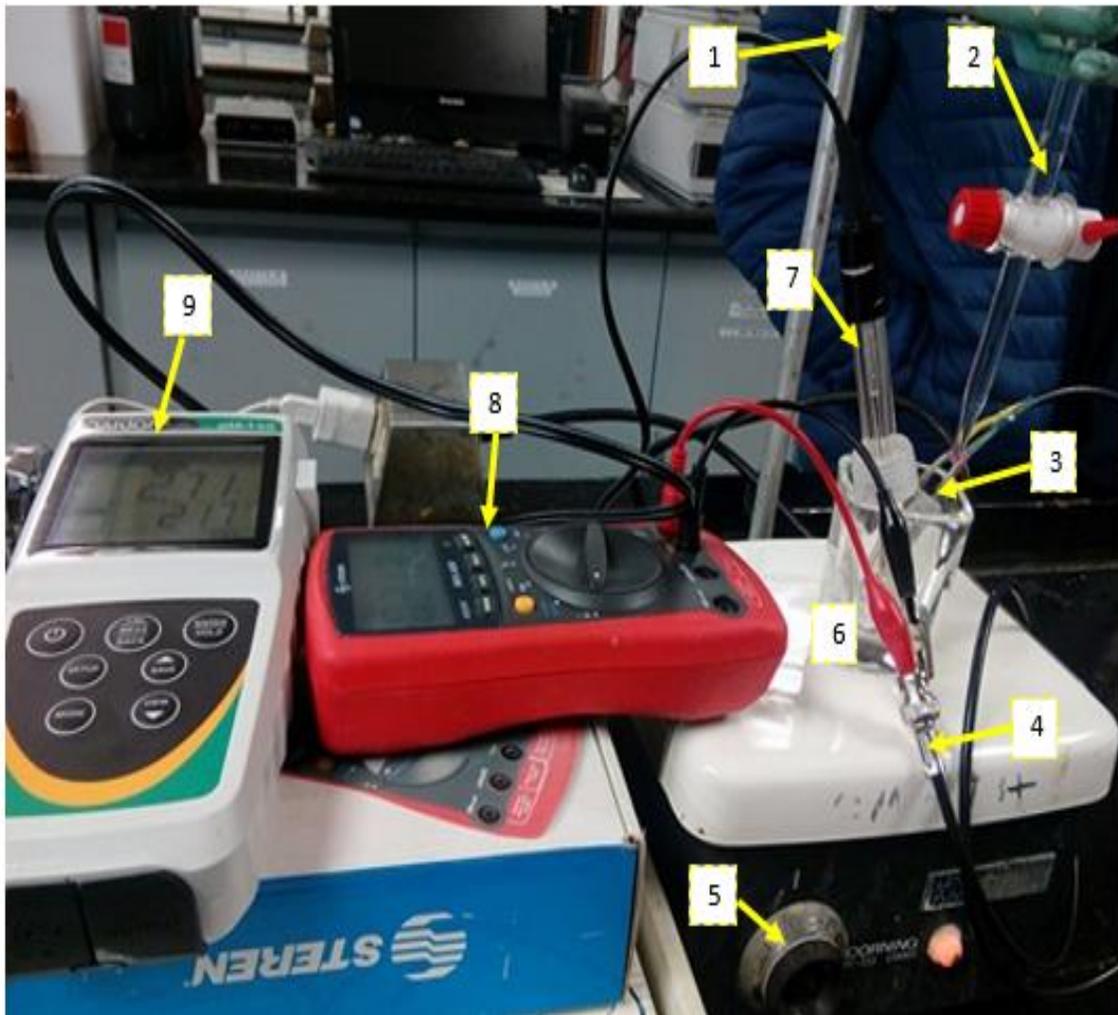


Figura 33. Diagrama del montaje experimental a utilizar para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH , a fin de comparar un multímetro con un potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

Se sigue utilizando el mismo procedimiento. Para llevar a cabo la valoración se toma una alícuota de 6 ml de $[\text{H}_3\text{PO}_4]=0.010017\text{M}$ y se vierte en una copa tequilera. Para tomar las mediciones ambos electrodos deben estar conectados a un potenciómetro cada uno y se introducen en la solución. La solución valorante que es el $[\text{NaOH}]=0.030278\text{ M}$ y se coloca en la bureta y se va agregando cada 0.25 ml hasta llegar a los 6 ml de volumen agregado.



1. Soporte Universal con pinzas
2. Bureta 10mL con NaOH
3. Electrodo E-E encapsulado
4. Conexión del E-E encapsulado
5. Agitador magnético
6. Solución H_3PO_4 a valorar
7. Electrodo de vidrio
8. Multímetro
9. Potenciómetros

Figura 34. Montaje experimental a utilizar para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH, a fin de comparar un multímetro con un potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

Una vez realizadas las corridas y con los datos obtenidos (Anexo 5.3, b) se hace una gráfica de pH en función de volumen (figura 35) para el electrodo de vidrio combinado y otra de potencial en función de volumen (figura 36) para el electrodo E-E, las cuales se muestran a continuación.

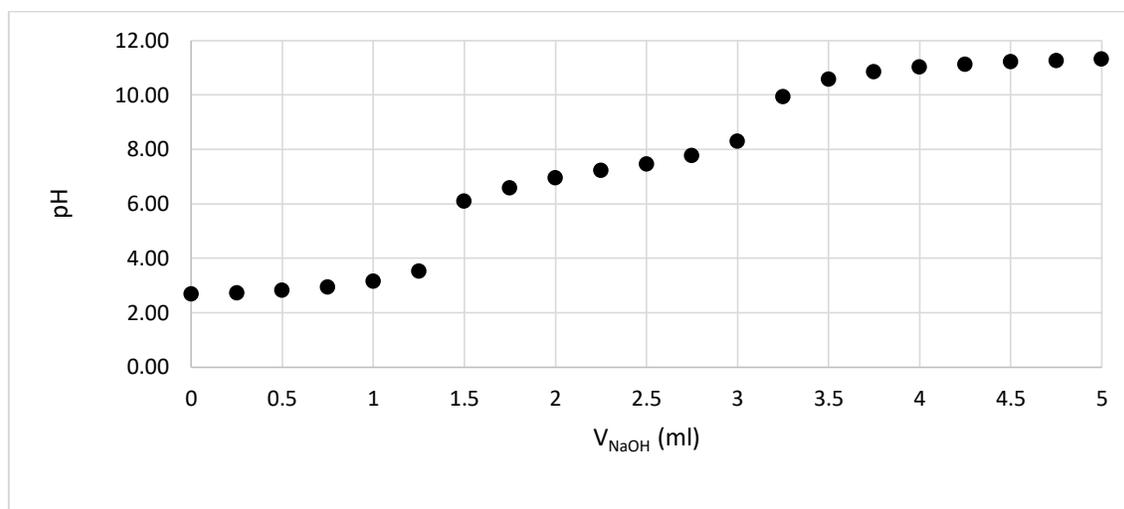


Figura 35. Curva promedio de tres valoraciones de H₃PO₄ [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo de vidrio combinado, pH en función de volumen agregado usando potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

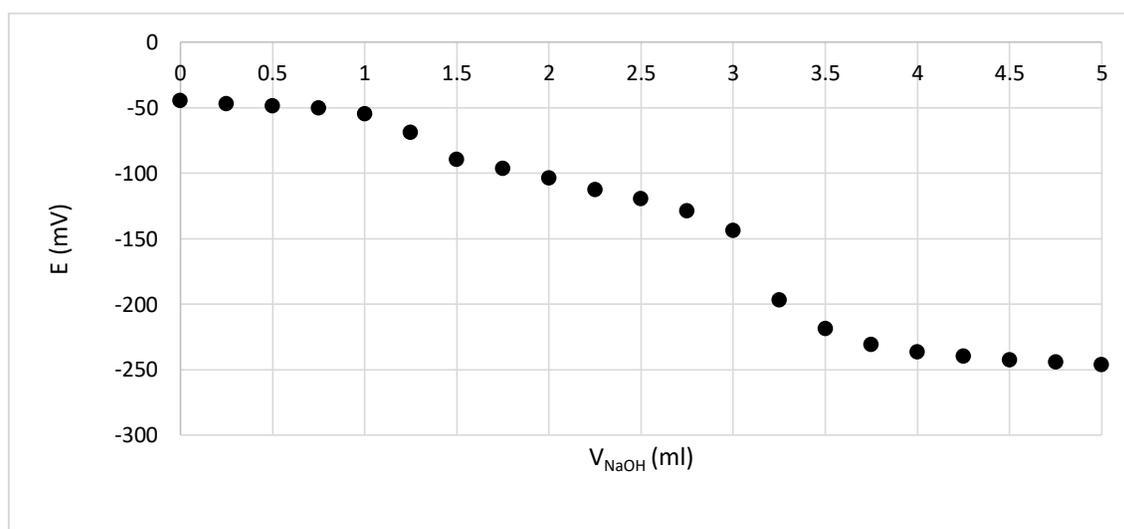


Figura 36 . Curva promedio de cuatro valoraciones de H₃PO₄ [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo E-E c/conexión, potencial en función de volumen agregado usando un multímetro.

Fuente: Autoría propia.

Una vez obtenidos los datos de la valoración en el laboratorio, volvemos a aplicar el método de la primera derivada, calculando el cambio de potencial por unidad de volumen de valorante, es decir, $\Delta E/\Delta V$

Teniendo ya calculados los valores de $\Delta E/\Delta V$ a partir de los datos experimentales, el siguiente paso es representar $\Delta E/\Delta V$ en función del volumen de valorante, donde se obtiene una curva con un máximo que corresponde al punto de inflexión.

Para el electrodo de E-E se sacó un promedio de $\Delta E/\Delta V$ de las corridas y se graficó en función del volumen agregado (figura 37), dicho gráfico se muestra a continuación:

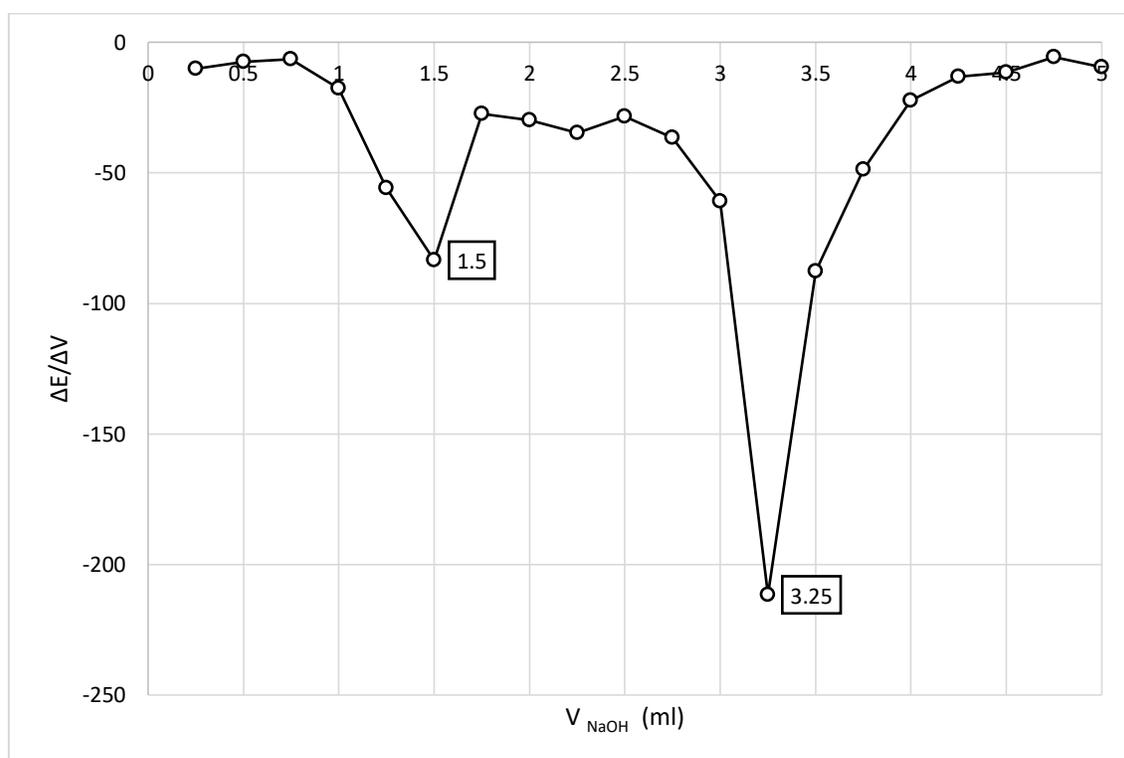


Figura 37. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo E-E usando un multímetro.

Fuente: Autoría propia.

Para el electrodo de vidrio combinado se sacó un promedio de $\Delta pH/\Delta V$ de las corridas y se graficó en función del volumen agregado (figura 38), dicho gráfico se muestra a continuación:

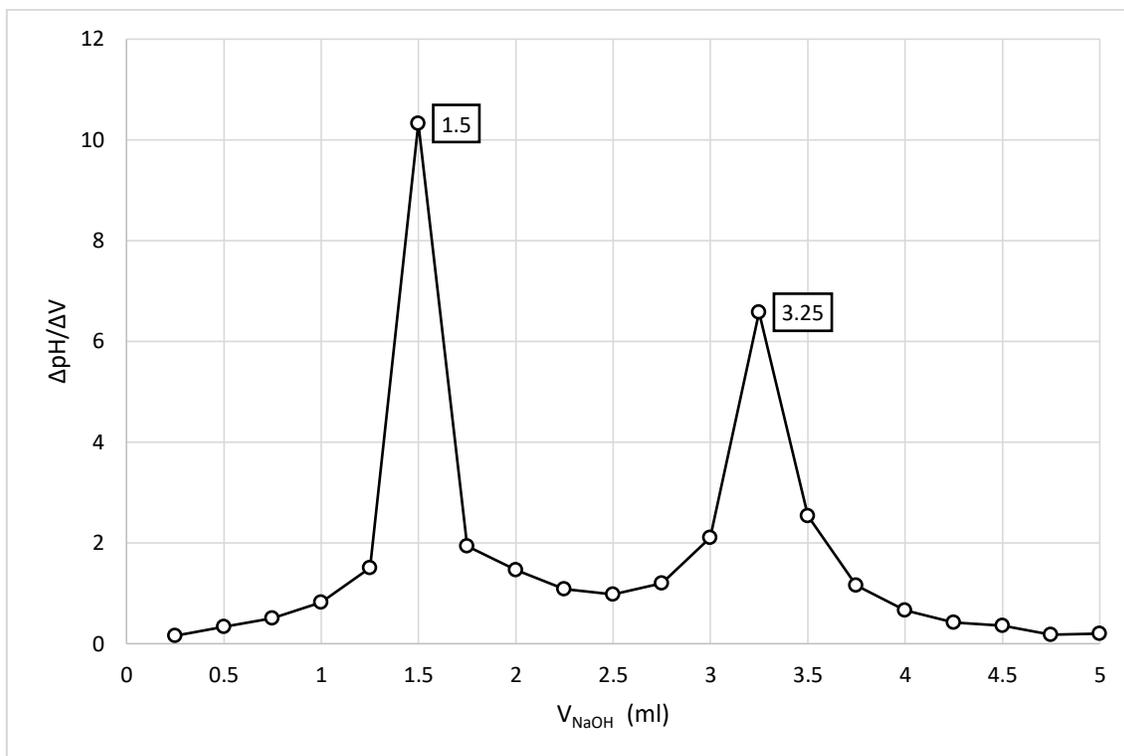


Figura 38. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo de vidrio combinado, usando potenciómetro.

Fuente: Autoría propia.

Una vez realizada la gráfica tanto de $\Delta E/\Delta V$ como de $\Delta pH/\Delta V$ en función del volumen de valorante podemos observar el volumen de punto de equivalencia, tanto para el electrodo E-E como para el de vidrio combinado se encuentra a los 1.5 ml y 3.25 ml de volumen agregado (que es en donde se observan los puntos máximos de la curva) para ambos electrodos.

Haciendo estos gráficos para cada corrida podemos observar donde se encuentran los puntos de equivalencia y posteriormente realizamos una tabla comparativa de los volúmenes de punto de equivalencia de las cuatro corridas para ambos electrodos, utilizando potenciómetro. Dicha tabla se muestra a continuación:

CORRIDA	ELECTRODO DE VIDRIO		ELECTRODO E-E	
	PE 1	PE2	PE1	PE2
1	1.5	3.25	1.5	3.25
2	1.5	3.25	1.5	3.25
3	1.5	3.25	1.5	3.25
Media	1.5	3.25	1.5	3.25
Desv. std	0	0	0	0
Varianza	0	0	0	0
Coef. Var. (%)	0	0	0	0

Tabla 5. Comparación de volumen de punto de equivalencia para el electrodo de vidrio, utilizando potenciómetro y el electrodo electropulido-electropulido encapsulado con conexión usando multímetro.

Fuente: Autoría propia.

Podemos observar que los puntos de equivalencia que se obtuvieron con el electrodo E-E c/conexión son los mismos que se obtuvieron con el electrodo de vidrio combinado; por lo que podemos decir que el electrodo E-E encapsulado trabaja de manera similar que el electrodo de vidrio y que se puede utilizar el multímetro como sustituto del potenciómetro ya que tenemos una respuesta semejante en su comportamiento.

Capítulo V

CALCULO DE LA T DE STUDENT PARA COMPARAR AMBOS MÉTODOS

Algunas veces se requiere comparar los resultados de dos pruebas a fin de saber si son "iguales" o "diferentes". Para ello se aplica la prueba t utilizando la t de Student. Para comparar los resultados de dos pruebas a fin de saber si son iguales o diferentes se requiere de una prueba estadística utilizando la t de Student y la desviación estándar de la población para cada método que es esencialmente la misma.

- Calculo de t

$$t_{combinada} = \frac{[\bar{x}_1 - \bar{x}_2]}{s_{cal}} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \dots\dots\dots 9$$

- Media

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x}{n_1} ; \dots\dots\dots 10.1$$

$$\bar{x}_2 = \frac{\sum x}{n_2} \dots\dots\dots 10.2$$

- Desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum x_1^2 - [(\sum x_1)^2 / n_1]}{n_1 - 1}} \dots\dots\dots 11$$

- Error estándar

$$s\bar{x}_1 = \frac{s_1}{\sqrt{n_1}} ; \dots\dots\dots 12.1$$

$$s\bar{x}_2 = \frac{s_2}{\sqrt{n_2}} \dots\dots\dots 12.2$$

- Grados de libertad

$$g.l = (n_1 + n_2) - 2 \dots\dots\dots 13$$

- %CV

Para interpretar el coeficiente de variación se utiliza la siguiente tabla

CV ≤ 10%	Existe poca variabilidad	Distribución homogénea
10% ≤ CV ≤ 33%	Existe una variabilidad aceptable	
33% ≤ CV ≤ 50%	Existe una variabilidad excesiva pero tolerante	Distribución heterogénea
CV > 50%	Existe una variabilidad excesiva	

TABLA 6. INTERPRETACION PARA EL COEFICIENTE DE VARIACIÓN

Tabla de puntos de equivalencia obtenidos con la primera derivada de las valoraciones de 6ml de H_3PO_4 contra NaOH medido con electrodo de vidrio y electrodo E-E usando potenciómetros para ambos casos.

MUESTRAS	Electrodo E-E		ELECTRODO DE VIDRIO	
	V_{PE1} $X_{1,1}$	V_{PE2} $X_{1,2}$	V_{PE1} X_2	V_{PE2} $X_{2,2}$
1	1.75	3	1.75	3
2	1.75	3.25	1.75	3.25
3	1.75	3.25	1.75	3.25
4	1.75	3.75	1.75	3.75
5	1.75	3.25	1.5	3.25
6	1.5	3.5	1.5	3.5
7	1.5	3.5	1.5	3.5
8	1.5	3.5	1.5	3.5
9	1.5	3.5	1.5	3.5
MEDIA	1.6388	3.3888	1.6111	3.3888
DESV ESTA	0.1242	0.2078	0.1242	0.2078
VARIANZA	0.0154	0.0432	0.0154	0.0432
ERROR EST	0.0146	0.024	0.0146	0.024
COEF. VAR. (%)	7.57	6.1319	7.57	6.1319

TABLA 7. TABLA DE COMPARACIÓN USANDO POTENCIÓMETROS.

FUENTE: AUTORÍA PROPIA

Tabla del cálculo de t de Student y grados de libertad para X1 y X2 de las valoraciones de 6ml de H₃PO₄ contra NaOH medido con electrodo de vidrio y electrodo E-E usando potenciómetros.

	PRUEBA T DE STUDENT	
	VPE1	VPE2
Grados de libertad	16	16
Nivel de confianza	99.95	99.95
PRUEBA T estadística	0.4474	0
Prueba T calculada	0.6441	0
Varianza agrupada	0.0173	0.0486
Valor crítico de t (dos colas)	2.1199	0

TABLA 8. CALCULO DE LA T DE STUDENT PARA COMPARACIÓN DE ELECTRODO E-E.

FUENTE: AUTORÍA PROPIA

Como podemos ver en este caso para el VPE1 nuestra T (**0.6441**) es aceptada, ya que es menor que el valor crítico de t (**2.1199**), por otra parte en el VPE 2 la T es de **cero** lo que nos indica que ambos datos son aceptados por lo que se deduce que nuestro electrodo E-E actúa de manera similar al electrodo de vidrio.

Tabla de puntos de equivalencia obtenidos con la primera derivada de las valoraciones de 6ml de H_3PO_4 contra NaOH medido con electrodo de vidrio y electrodo E-E usando multímetro.

	ELECTRODO E-E		ELECTRODO DE VIDRIO	
	V_{PE1}	V_{PE2}	V_{PE1}	V_{PE2}
MUESTRAS	$X_{1,1}$	$X_{1,2}$	$X_{2,1}$	$X_{2,2}$
1	1.75	3.25	1.75	3.25
2	1.75	3.25	1.75	3.25
3	1.5	3	1.5	3
4	1.5	3	1.5	3
5	1.5	3.25	1.5	3.25
6	1.5	3.25	1.5	3.25
7	1.5	3.25	1.5	3.25
8	1.5	3.25	1.5	3.25
9	1.5	3.25	1.5	3.25
MEDIA	1.55	3.19	1.55	3.19
DESV ESTA	0.1102	0.1102	0.1102	0.1102
VARIANZA	0.0108	0.0108	0.0108	0.0108
COEF. VAR (%)	6.70	3.25	6.70	3.25
ERROR EST	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122

TABLA 9. TABLA DE COMPARACIÓN UNSANDO MULTIMETRO.

FUENTE: AUTORÍA PROPIA

Tabla del cálculo de t de Student y grados de libertad para X1 y X2 de las valoraciones de 6ml de H₃PO₄ contra NaOH medido con electrodo de vidrio y electrodo E-E usando multímetro.

PRUEBA T DE STUDENT		
	V_{PE1}	V_{PE2}
Grados de libertad	16	16
Nivel de confianza	99.95	99.95
Prueba T estadística	0	0
PRUEBA T calculada	0	0
Varianza agrupada	0.0121	0.0121
Valor crítico de t (dos colas)	0.6901	0.6901

TABLA 10. CALCULO DE LA T DE STUDEN PARA COMPRACION DEL ELECTRODO E-E Y MULTIMETRO.

FUENTE: AUTORÍA PROPIA

Para este caso nuestro valor de t es aceptable ya que es igual a cero, lo que representa que nuestro electrodo E-E trabaja de manera similar al electrodo de vidrio así como el uso del multímetro como sustituto del potenciómetro.

Mediante esta prueba podemos observar que el sistema presentado en este trabajo no se presentó diferencias significativas con el método convencional. Por lo que podemos asegurar que nuestro electrodo E-E elaborado funciona de manera similar al electrodo de vidrio y que es posible utilizar el multímetro como instrumento de fin de valoración sustituyendo al potenciómetro con un alto nivel de confianza.

CONCLUSIONES.

Conclusiones Generales:

- Mediante la técnica presentada en este trabajo de electropulido de metales logramos hacer dos electrodos electropulidos de acero inoxidable 316, uno que nos sirve como electrodo de referencia y otro que sirve como electrodo indicador.
- Se lograron realizar las microvaloraciones ácido-base utilizando el electrodo electropulido-electropulido.
- La novedad que tiene este sistema presentado es que no hay un electrodo electropulido-electropulido que se esté usando como sistema indicador de pH en donde se esté utilizando un multímetro; por lo que se está haciendo una potenciometría sin potenciómetros y sin electrodos comerciales.
- Es un proyecto propio de la FES Cuautitlán, que puede implementarse en los laboratorios de Química Analítica, ya que con todo esto obtenemos una metodología alternativa, confiable y de gran ayuda para poder mejorar el equipo en los laboratorios y reducir significativamente tanto los costos como los residuos generados.

Conclusiones Particulares:

1. Se elaboraron dos electrodos electropulidos de acero inoxidable 316; uno se utilizó como electrodo indicador de pH y otro como electrodo de referencia.
2. Se comprobó experimentalmente que los electrodos elaborados, utilizándolos por separado, funcionan de manera equivalente al electrodo convencional de vidrio combinado en la valoración de H_3PO_4 con NaOH utilizando como sistema de medida un potenciómetro.
3. Se comprobó experimentalmente que los electrodos elaborados, combinados, funcionan de manera equivalente al electrodo convencional de vidrio combinado en la valoración de H_3PO_4 con NaOH, utilizando como sistema de medida un Multímetro.
4. Se comprobó experimentalmente que los electrodos elaborados, combinados, funcionan de manera equivalente al electrodo convencional de vidrio combinado en la valoración de H_3PO_4 con NaOH con las conexiones equivalentes al electrodo de vidrio combinado utilizando como sistema de medida un Multímetro.
5. El electrodo E-E elaborado funciona de manera similar al electrodo convencional y se puede utilizar el multímetro como instrumento de fin de valoración ya que muestra respuestas muy satisfactorias por lo que sirve como un sustituto del potenciómetro.
6. Con esto obtenemos una metodología alternativa e innovadora y de bajo costo (anexo8), la cual puede ser implementada dentro de los laboratorios,

todo con la finalidad de mejorar el equipo, reducir significativamente en el volumen de la alícuota a valorar, también implica una reducción en el consumo de reactivos analíticos, reducción de residuos y por consiguiente un menor impacto ambiental. Cabe mencionar que esta tecnología fue desarrollada en la Universidad Nacional Autónoma de México en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

ANEXOS

ANEXO 1. MATERIAL UTILIZADO PARA LLEVAR ACABO TODO EL TRABAJO EXPERIMENTAL.

Material y Equipo	Reactivos
Multímetro STEREN Mod. MUL-600	H ₃ PO ₄ Merck PM= 98 ρ= 1.71 g/ml Pureza= 85%
Potenciómetro <ul style="list-style-type: none"> • OAKTON pH150 • OAKTON pH110 	NaOH Meyer PM=40 Pureza= 97%
Electrodo Electropulido-Electropulido (Acero 316)	KNO ₃ REPROQUIFIN PM= 101.10 Pureza= 99%
Electrodo de vidrio	
Copa tequilera	CrO ₃ 2.5 M en H ₂ SO ₄ 2.5 M
Soporte universal con pinzas	
Agitador magnético CORNING PC-353	
Barra de agitación magnética	
Bureta 10 mL. KIMAX Tipo/Clase: A	
Puente de agar	
Pipeta graduada 10 ml PYREX	
Matraz volumétrico 250 ml Clase A PYREX	
Fuente de Energía LODESTAR Modelo: PS-305	
Vaso de precipitado <ul style="list-style-type: none"> • 50 ml KIMAX • 100 ml y 150 ml PYREX 	
Propipeta	
Micropipeta <i>Single Chaannel Pipette CAPP Denmark</i>	

ANEXO 2. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES.

➤ **Para el NaOH 3×10^{-2}**

$$250 \text{ ml} \left(\frac{3 \times 10^{-2} \text{ mol}}{1000 \text{ ml}} \right) \left(\frac{40 \text{ gr NaOH}}{1 \text{ mol}} \right) \left(\frac{97 \text{ gr RA}}{100 \text{ gr RP}} \right) = 0.291 \text{ gr NaOH}$$

Se pesaron 0.2937 gr de NaOH por lo que para sacar la concentración real el cálculo sería:

$$\left(\frac{0.2937 \text{ gr NaOH}}{250 \text{ ml}} \right) \left(\frac{1 \text{ mol}}{40 \text{ gr NaOH}} \right) \left(\frac{100 \text{ gr RP}}{97 \text{ gr RA}} \right) (1000 \text{ ml}) = 0.030278 \text{ M}$$

NOTA: Este reactivo no es estándar primario, ya que sólo se comparan puntos de equivalencia, por lo que no se necesita saber concentraciones.

➤ **Para el H₃PO₄ 1×10^{-2}**

$$250 \text{ ml} \left(\frac{1 \times 10^{-2} \text{ mol}}{1000 \text{ ml}} \right) \left(\frac{98 \text{ gr H}_2\text{PO}_4}{1 \text{ mol}} \right) \left(\frac{1 \text{ ml}}{1.71 \text{ gr}} \right) \left(\frac{85 \text{ gr RA}}{100 \text{ gr RP}} \right) = 0.12178 \text{ ml}$$

Con una micropipeta *Single Chaannel Pipette CAPP Denmark* se tomaron 122 μl por lo que la concentración real del H₃PO₄

$$\left(\frac{0.122 \text{ ml}}{250 \text{ ml}} \right) \left(\frac{1 \text{ mol}}{98 \text{ gr H}_2\text{PO}_4} \right) \left(\frac{1.71 \text{ gr}}{1 \text{ ml}} \right) \left(\frac{100 \text{ gr RP}}{85 \text{ gr RA}} \right) (1000 \text{ ml}) = 0.010017 \text{ M}$$

ANEXO 3. IMAGENES DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL ELECTRODO ELECTROPULIDO-ELECTROPULIDO



Imagen 1. Acero 316 electropulido (ánodo)



Imagen 2. Acero 316 electropulido (cátodo)



Imagen 3. Electrodo electropulido de referencia.



Imagen 4. Electrodo electropulido indicador.



Imagen 5. Electrodo Electropulido-Electropulido



Imagen 6. Cable para comenzar con la conexión para el electrodo E-E.



Imagen 7. Conector macho.



Imagen 8. Material utilizado para poner las conexiones



Imagen 9. Electrodo Electropulido-Electropulido con conexión

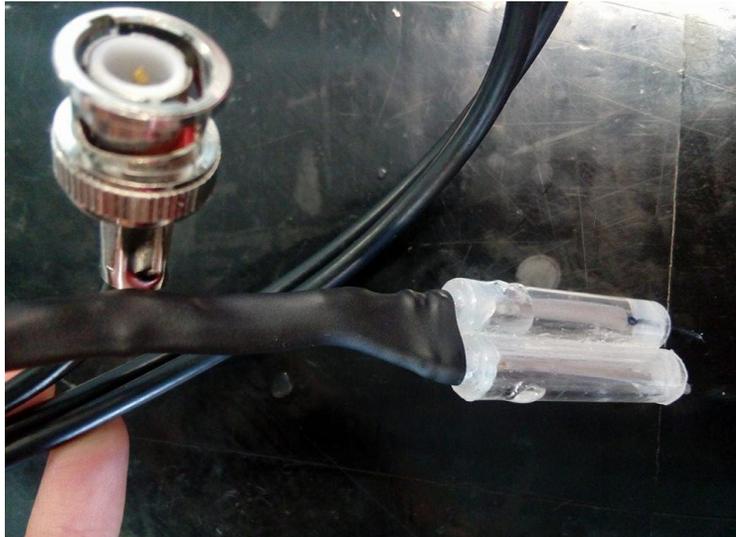


Imagen 10. Electrodo Electropulido-Electropulido terminado



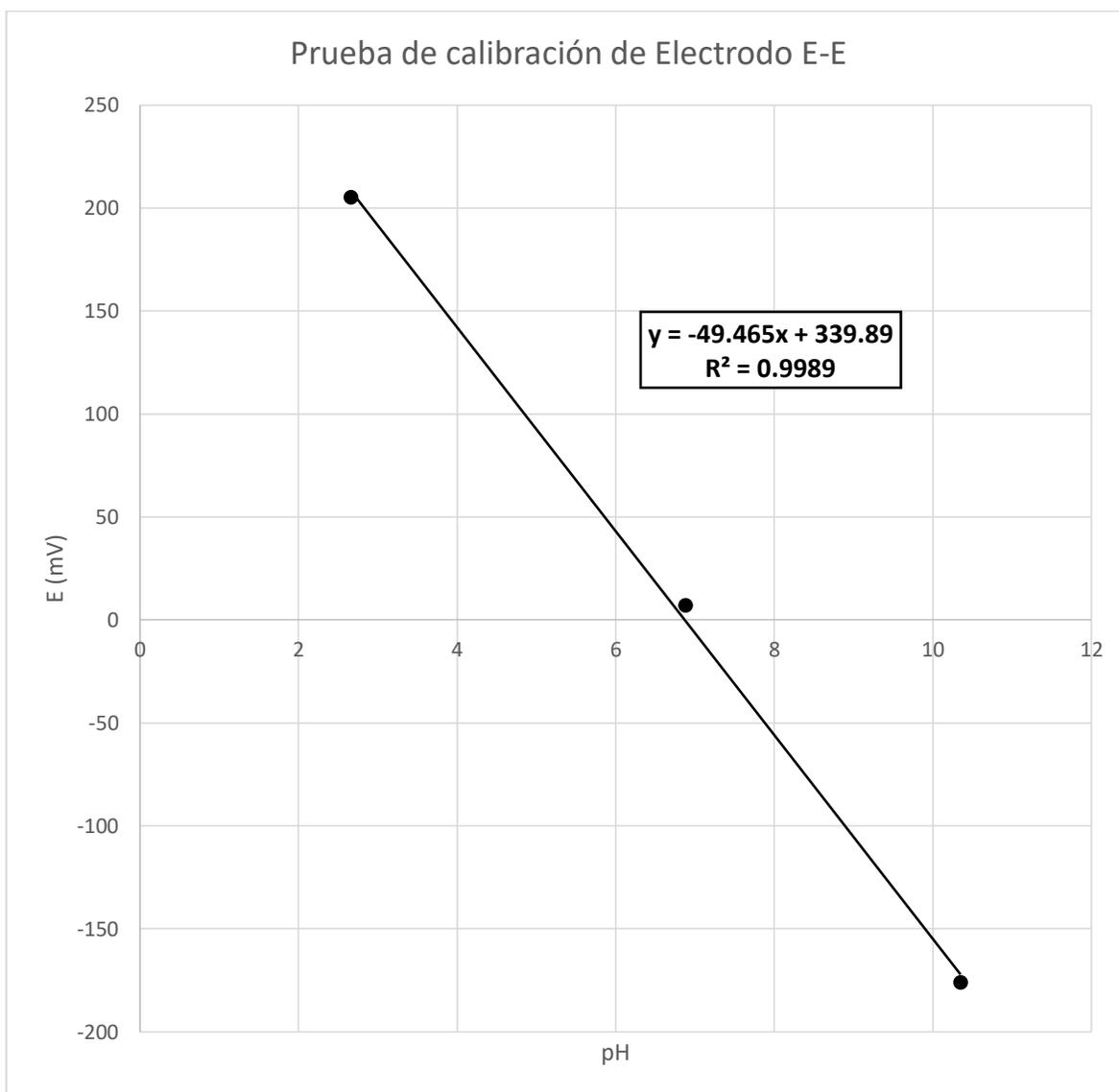
Imagen 11. Prueba para saber si las conexiones están bien.

ANEXO 4. PRUEBA DE CALIBRACIÓN DE ELECTRODO E-E

Con el fin de asegurar el funcionamiento de los sistemas indicadores de fin de valoración con los electrodos alternativos, fueron calibrados para asegurar su precisión.

Al graficar datos de potencial medido contra pH obtenemos una línea recta con pendiente negativa y correlación cercana a 1; por lo tanto con esto se puede comprobar si nuestro electrodo funciona correctamente.

Para checar si el electrodo elaborado funciona hicimos una misma prueba, tomamos diferentes valores de potencial contra pH y obtuvimos una línea recta con correlación de $=.9989$, cercana a 1 por lo que con esto logramos verificar que nuestro electrodo tiene una buena eficiencia.



FUENTE: AUTORIA PROPIA.

ANEXO 5. TABLAS DE RESULTADOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE.

5.1 VALORACIÓN DE ÁCIDO FOSFORICO CON HIDROXIDO DE SODIO, UTILIZANDO LOS ELECTRODOS ELABORADOS

a. Comparación de un electrodo comercial de vidrio con un electrodo electropulido-electropulido usando potenciómetro.

V(ml)	1er Corrida		2da Corrida		3er Corrida		4ta Corrida		Promedio	
	pH	E (mV)	pH	E (mV)	pH	E(mv)	pH	E(mV)	pH	E(mV)
0	2.66	205	2.66	94.5	2.79	223	2.64	150.4	2.69	168.23
0.25	2.69	200	2.72	88.3	2.81	211	2.67	151.3	2.72	162.65
0.5	2.80	184.8	2.83	54	2.87	201	2.77	148.6	2.82	147.10
0.75	2.97	176.5	2.95	51.1	2.97	170.1	2.89	147.1	2.95	136.20
1	3.15	163.7	3.11	53.2	3.05	165.2	3.03	143.3	3.09	131.35
1.25	3.45	151.1	3.38	46	3.25	158	3.18	137.2	3.32	123.08
1.5	4.98	108.5	4.54	43.6	3.63	137.1	3.61	128.6	4.19	104.45
1.75	6.48	27	6.39	-46	5.74	37.3	5.71	44.2	6.08	15.63
2	6.88	6.9	6.81	-62.6	6.53	-3	6.49	3.6	6.68	-13.78
2.25	7.14	-13.8	7.10	-71.5	6.86	-15.1	6.82	-17.9	6.98	-29.58
2.5	7.41	-15.2	7.38	-82.9	7.07	-31.8	7.04	-28.9	7.23	-39.70
2.75	7.73	-29.9	7.68	-93.4	7.31	-42	7.22	-35.4	7.49	-50.18
3	9.55	-130.7	8.21	-118.6	7.58	-57.3	7.22	-44.7	8.14	-87.83
3.25	10.35	-176.1	10.27	-227	7.93	-75.8	7.44	-57.9	9.00	-134.20
3.5	10.84	-203	10.79	-263	8.97	-126	8.21	-82.9	9.70	-168.73
3.75	11.04	-215	11	-278	10.42	-200	9.81	-178.7	10.57	-217.93
4	11.16	-224	11.12	-288	10.78	-217	10.55	-199.2	10.90	-232.05
4.25	11.26	-227	11.23	-292	10.96	-225	10.67	-214	11.03	-239.50
4.5	11.33	-229	11.29	-293	11.07	-230	10.86	-222	11.14	-243.50
4.75	11.39	-236	11.34	-295	11.19	-234	11.01	-223	11.23	-247.00
5	11.43	-240	11.41	-299	11.24	-238	11.8	-225	11.47	-250.50

FUENTE: AUTORIA PROPIA.

b. Comparación de un multímetro con un potenciómetro.

V(ml)	1° Corrida		2° Corrida		3° Corrida		4° Corrida		Promedio	
	pH	E (mV)	pH	E (mV)	pH	E (mV)	pH	E(mV)	pH	E(mV)
0	2.63	254.5	2.66	205.2	2.64	134.2	2.77	188.4	2.68	195.58
0.25	2.68	254	2.67	202.2	2.71	132.2	2.79	171.2	2.71	189.90
0.5	2.77	257	2.75	199.3	2.8	129.4	2.85	161.4	2.79	186.78
0.75	2.89	246.5	2.86	195.6	2.99	121.8	2.94	157.6	2.92	180.38
1	3.06	250.9	3.08	191.7	3.22	120	3.05	151.8	3.10	178.60
1.25	3.28	237.2	3.35	179.6	3.75	114.3	3.26	143.6	3.41	168.68
1.5	4.08	200.5	4.49	120.3	6.21	28	3.83	115.5	4.65	116.08
1.75	6.41	90	6.41	21.2	6.73	7.2	6.24	-14.5	6.45	25.98
2	6.83	65.9	6.83	10	7.03	-5.6	6.75	-37.2	6.86	8.28
2.25	7.03	55	7.18	-8.8	7.33	-17.2	7.07	-49.1	7.15	-5.03
2.5	7.3	43.7	7.37	-19.8	7.69	-35.7	7.28	-56	7.41	-16.95
2.75	7.59	30.6	7.67	-38.7	8.34	-70.4	7.55	-67.8	7.79	-36.58
3	7.88	20.2	8.22	-67.3	10.2	-160	7.94	-83.5	8.55	-72.58
3.25	9.73	-70.9	10.1	-176	10.6	-175	9.27	-142	9.90	-140.90
3.5	10.5	-99.9	10.7	-213	10.8	-190	10.5	-195	10.61	-174.30
3.75	10.8	-117	10.9	-229	11	-201	10.9	-210	10.89	-189.08
4	11	-133	11	-261	11.1	-226	11.1	-219	11.04	-209.80
4.25	11.1	-132	11.1	-267	11.1	-244	11.2	-223	11.14	-216.58
4.5	11.2	-136	11.2	-270	11.2	-246	11.2	-226	11.21	-219.73
4.75	11.3	-144	11.3	-278	11.3	-247	11.3	-228	11.28	-224.50
5	11.4	-148	11.3	-293	11.3	-249	11.4	-225	11.33	-228.55

FUENTE: AUTORIA PROPIA.

5.2 VALORACIÓN DE ÁCIDO FOSFORICO CON HIDROXIDO DE SODIO, UTILIZANDO LOS ELECTRODOS E-E YA ECAPSULADOS.

a. Comparación de un multímetro con un potenciómetro usando el E-E encapsulado

V (ml)	1° Corrida		2° Corrida		3° Corrida		Promedio	
	pH	E (mV)	pH	E (mV)	pH	E (mV)	pH	E (mV)
0	2.66	66	2.72	93.2	2.71	138	2.70	99.07
0.25	2.73	61	2.77	89.5	2.74	134.2	2.75	94.90
0.5	2.81	55.5	2.89	86.4	2.86	125.9	2.85	89.27
0.75	2.98	51.5	3	82.4	2.96	122.5	2.98	85.47
1	3.26	40.5	3.22	71.5	3.14	112	3.21	74.67
1.25	3.48	37.7	3.50	56.7	3.57	92.8	3.52	62.40
1.5	5.68	-19.3	5.81	-15.6	5.92	18.3	5.80	-5.53
1.75	6.59	-55.5	6.71	-53.7	6.63	-2.6	6.64	-37.27
2	6.96	-70.5	6.99	-64	6.96	-14.1	6.97	-49.53
2.25	7.25	-82	7.19	-70.4	7.24	-23.9	7.23	-58.77
2.5	7.53	-92.8	7.46	-78.6	7.51	-33.2	7.50	-68.20
2.75	7.90	-107.3	7.69	-84	7.84	-44.3	7.81	-78.53
3	8.93	-143.7	8.22	-101.4	8.65	-79	8.60	-108.03
3.25	10.35	-227.7	9.92	-166.3	10.27	-150.7	10.18	-181.57
3.5	10.81	-252	10.53	-195.4	10.72	-174.2	10.69	-207.20
3.75	10.94	-260.7	10.80	-208.1	10.94	-185.4	10.89	-218.07
4	11.06	-274.1	10.69	-215.3	11.08	-192.8	10.94	-227.40
4.25	11.13	-288.8	11.06	-220.3	11.15	-195.9	11.11	-235.00
4.5	11.19	-295.5	11.14	-224.8	11.23	-200.6	11.19	-240.30
4.75	11.26	-299	11.21	-228.3	11.29	-203.3	11.25	-243.53
5	11.30	-301.5	11.26	-230.5	11.34	-206	11.30	-246.00

FUENTE: AUTORIA PROPIA.

5.3 VALORACIÓN DE ÁCIDO FOSÓFRICO CON HIDROXIDO DE SODIO, UTILIZANDO LOS ELECTRODOS E-E ECAPSULADOS Y CON CONEXIONES.

a. Comparación de un electrodo comercial de vidrio con un electrodo electropulido-electropulido usando potenciómetro.

V (ml)	1° corrida		2° corrida		3° corrida		4° corrida		5° corrida		PROMEDIO	
	pH	E(mV)	pH	E(mV)	pH	E(mV)	pH	E(mV)	pH	E(mV)	pH	E(mV)
0	2.72	44.2	2.82	75.9	2.92	74.6	2.92	85.1	2.82	107.4	2.84	77.44
0.25	2.76	45.6	2.84	75.5	2.91	74.4	2.94	82.2	2.82	106.5	2.854	76.84
0.5	2.8	46.3	2.89	74.4	2.93	73.8	2.99	81.9	2.85	106.2	2.892	76.52
0.75	3.04	46.9	2.98	73.3	3	73.3	3.08	80.5	2.98	106	3.016	76
1	3.19	54.8	3.13	72.9	3.2	73.2	3.28	82.1	3.22	105.2	3.204	77.64
1.25	3.51	59.4	3.37	72	3.63	72.2	3.74	83.6	3.6	104.3	3.57	78.3
1.5	5.72	59.8	5.69	44.6	5.91	37.1	5.98	47.5	5.9	88.3	5.84	55.46
1.75	6.63	38.5	6.55	35.3	6.59	30.2	6.59	26.8	6.55	83.9	6.582	42.94
2	6.95	38.2	6.9	35.1	6.92	25.6	6.89	18.1	6.79	78.9	6.89	39.18
2.25	7.21	30.9	7.18	26.8	7.17	23.5	7.06	16.2	7.02	74.5	7.128	34.38
2.5	7.47	22.3	7.36	21.7	7.39	17.6	7.29	11	7.25	70.9	7.352	28.7
2.75	7.69	15.6	7.64	14.8	7.66	8.9	7.54	5.3	7.44	65.7	7.594	22.06
3	8.11	0.1	7.97	4.2	8.04	-4.1	7.76	-3	7.67	59.4	7.91	11.32
3.25	9.45	-52.5	8.66	-18.9	8.73	-29.3	8.14	-15.2	7.95	49.5	8.586	-13.28
3.5	10.31	-91.7	10.22	-72.1	9.97	-71.6	9.15	-49.1	9.23	17.3	9.776	-53.44
3.75	10.65	-109.5	10.45	-79.8	10.42	-93.7	9.89	-71.1	9.74	3.6	10.23	-70.1
4	10.87	-121.4	10.73	-88	10.67	-106.2	10.17	-79.9	9.97	2.2	10.482	-78.66
4.25	11.01	-132.5	10.93	-95.2	10.84	-117.5	10.46	-91.4	10.14	-2.98	10.676	-87.916
4.5	11.11	-136.8	11.06	-100.7	10.95	-128.2	10.61	-97.4	10.28	-7.5	10.802	-94.12
4.75	11.17	-141.2	11.14	-104.9	11.04	-133.3	10.75	-103.9	10.45	-9.6	10.91	-98.58
5	11.25	-146.5	11.2	-113.3	11.11	-142.1	10.87	-111.7	10.58	-12.5	11.002	-105.22

FUENTE: AUTORIA PROPIA.

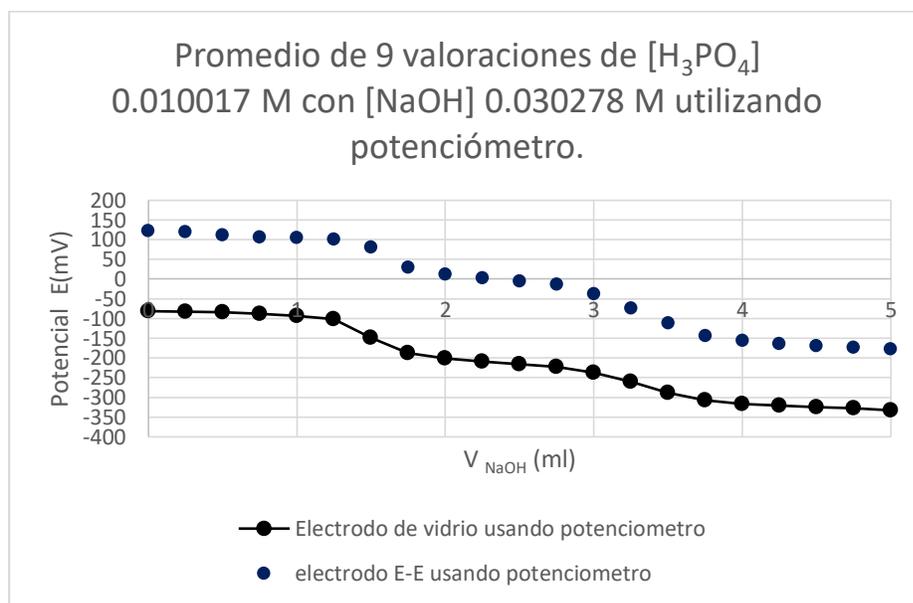
- b. Comparación de un multímetro con un potenciómetro, utilizando E-E encapsulado y con conexiones.

V (ml)	1° Corrida		2° Corrida		PROMEDIO	
	pH	E (mV)	pH	E (mV)	pH	E (mV)
0	2.66	-27.8	2.73	-61	2.70	-44.4
0.25	2.72	-31.4	2.75	-62.5	2.74	-46.95
0.5	2.78	-33.7	2.86	-63.9	2.82	-48.8
0.75	2.94	-36.3	2.95	-64.5	2.95	-50.4
1	3.10	-39.3	3.20	-70.3	3.15	-54.8
1.25	3.52	-42.2	3.53	-95.3	3.53	-68.75
1.5	6.11	-74.3	6.10	-104.9	6.11	-89.6
1.75	6.59	-87.6	6.59	-105.3	6.59	-96.45
2	6.98	-100.3	6.93	-107.5	6.96	-103.9
2.25	7.25	-108.8	7.20	-116.3	7.23	-112.55
2.5	7.46	-114.5	7.48	-124.8	7.47	-119.65
2.75	7.79	-123.8	7.75	-133.8	7.77	-128.8
3	8.34	-139	8.25	-149	8.30	-144
3.25	9.97	-189.8	9.91	-204	9.94	-196.9
3.5	10.60	-208.7	10.55	-228.9	10.58	-218.8
3.75	10.90	-217	10.83	-244.9	10.87	-230.95
4	11.07	-217.2	10.99	-255.8	11.03	-236.5
4.25	11.17	-218	11.10	-261.6	11.14	-239.8
4.5	11.26	-218.9	11.19	-266.5	11.23	-242.7
4.75	11.31	-219	11.23	-269.2	11.27	-244.1
5	11.36	-219.5	11.28	-273.4	11.32	-246.45
5.25	11.40	-219.5	11.33	-275.8	11.37	-247.65
5.5	11.44	-219.5	11.37	-278.1	11.41	-248.8
5.75	11.46	-219.5	11.40	-280.8	11.43	-250.15
6	11.49	-219.5	11.43	-283.9	11.46	-251.7

FUENTE: AUTORIA PROPIA.

ANEXO 6. COMPARACIÓN DEL POTENCIAL PARA EL ELECTRODO DE VIDRIO Y EL E-E UTILIZANDO POTENCIÓMETRO.

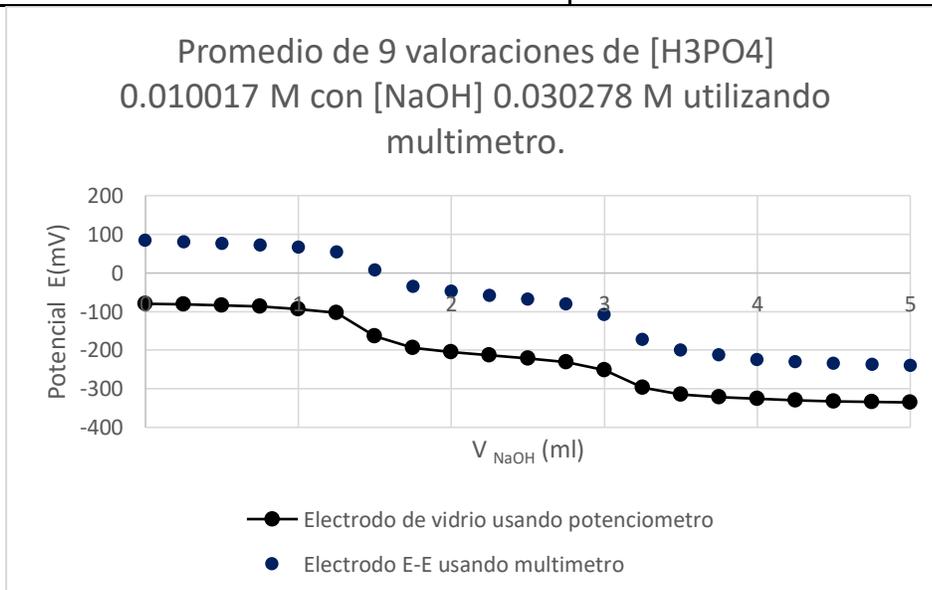
V (ml)	Potenciómetro electrodo de vidrio			Potenciómetro electrodo E-E		
	E(mV) 4 corr	E(mV) 5 corr	E(mV) 9 corr prom	E(mV) 4 corr	E (mV) 5 corr	E (mV)9 corr prom
0	-79.55	-84.064	-81.807	168.23	77.44	122.8325
0.25	-80.586	-84.4784	-82.5322	162.65	76.84	119.745
0.5	-83.398	-85.6032	-84.5006	147.10	76.52	111.81
0.75	-87.172	-89.2736	-88.2228	136.20	76	106.1
1	-91.316	-94.8384	-93.0772	131.35	77.64	104.495
1.25	-98.124	-105.672	-101.898	123.08	78.3	100.6875
1.5	-124.024	-172.864	-148.444	104.45	55.46	79.955
1.75	-179.968	-194.8272	-187.3976	15.63	42.94	29.2825
2	-197.654	-203.944	-200.799	-13.78	39.18	12.7025
2.25	-206.608	-210.9888	-208.7984	-29.58	34.38	2.4025
2.5	-213.86	-217.6192	-215.7396	-39.70	28.7	-5.5
2.75	-221.556	-224.7824	-223.1692	-50.18	22.06	-14.0575
3	-240.944	-234.136	-237.54	-87.83	11.32	-38.2525
3.25	-266.326	-254.1456	-260.2358	-134.20	-13.28	-73.74
3.5	-287.194	-289.3696	-288.2818	-168.73	-53.44	-111.0825
3.75	-312.798	-302.808	-307.803	-217.93	-70.1	-144.0125
4	-322.714	-310.2672	-316.4906	-232.05	-78.66	-155.355
4.25	-326.488	-316.0096	-321.2488	-239.50	-87.916	-163.708
4.5	-329.67	-319.7392	-324.7046	-243.50	-94.12	-168.81
4.75	-332.482	-322.936	-327.709	-247.00	-98.58	-172.79
5	-339.512	-325.6592	-332.5856	-250.50	-105.22	-177.86



FUENTE: AUTORIA PROPIA.

ANEXO 7. COMPARACIÓN DEL POTENCIAL PARA EL ELECTRODO DE VIDRIO UTILIZANDO POTENCIÓMETRO Y PARA EL E-E UTILIZANDO MULTÍMETRO.

V (ml)	Potenciómetro electrodo de vidrio				Multímetro electrodo E-E			
	4 corr	3 corr	2 corr	prom 9 corr	4corr	3 corr	2 corr	prom 9 corr
0	-79.18	-79.8213333	-79.772	-79.59111111	195.575	99.07	-44.4	83.41388889
0.25	-80.29	-81.3013333	-80.956	-80.84911111	189.9	94.90	-46.95	79.28333333
0.5	-82.658	-84.4586667	-83.472	-83.52955556	186.775	89.27	-48.8	75.74722222
0.75	-86.432	-88.208	-87.172	-87.27066667	180.375	85.47	-50.4	71.81388889
1	-91.834	-94.9173333	-93.24	-93.33044444	178.6	74.67	-54.8	66.15555556
1.25	-100.936	-104.093333	-104.34	-103.1231111	168.675	62.40	-68.75	54.10833333
1.5	-137.714	-171.778667	-180.708	-163.4002222	116.075	-5.53	-89.6	6.980555556
1.75	-190.846	-196.642667	-195.064	-194.1842222	25.975	-37.27	-96.45	-35.91388889
2	-203.056	-206.312	-205.868	-205.0786667	8.275	-49.53	-103.9	-48.38611111
2.25	-211.714	-213.909333	-213.86	-213.1611111	-5.025	-58.77	-112.55	-58.78055556
2.5	-219.336	-222	-221.112	-220.816	-16.95	-68.20	-119.65	-68.26666667
2.75	-230.51	-231.176	-229.992	-230.5593333	-36.575	-78.53	-128.8	-81.30277778
3	-253.006	-254.56	-245.532	-251.0326667	-72.575	-108.03	-144	-108.2027778
3.25	-293.114	-301.328	-294.224	-296.222	-140.9	-181.57	-196.9	-173.1222222
3.5	-313.982	-316.325333	-313.02	-314.4424444	-174.3	-207.20	-218.8	-200.1
3.75	-322.27	-322.442667	-321.604	-322.1055556	-189.075	-218.07	-230.95	-212.6972222
4	-326.71	-323.922667	-326.488	-325.7068889	-209.8	-227.40	-236.5	-224.5666667
4.25	-329.744	-328.954667	-329.596	-329.4315556	-216.575	-235.00	-239.8	-230.4583333
4.5	-331.89	-331.125333	-332.26	-331.7584444	-219.725	-240.30	-242.7	-234.2416667
4.75	-333.814	-333.098667	-333.592	-333.5015556	-224.5	-243.53	-244.1	-237.3777778
5	-335.442	-334.48	-335.072	-334.998	-228.55	-246.00	-246.45	-240.3333333



FUENTE: AUTORIA PROPIA.

ANEXO 8. COMPARACIÓN DE COSTOS ACTUALES.

Para poder demostrar que la elaboración de un electrodo E-E comparado con un electrodo comercial es más económico y que el uso de este como sistema indicador de pH con multímetro como instrumento de fin de valoración presentado contra un sistema convencional reduce los costos significativamente hicimos un análisis de costos, en donde comparamos primero los gastos generados en la fabricación de un electrodo E-E contra un electrodo comercial y posteriormente comparamos algunos potenciómetros comerciales con multímetros.

- Comparación en los costos de electrodos comerciales contra el electrodo E-E elaborado.

ELECTRODO ELECTROPULIDO-ELECTROPULIDO	
Material	Dólar
Acero 316	0.84
Cable coaxial	0.80
Conector macho	0.53
Termofit	0.59
Tubos para encapsular	1.07
Hilo	0.27
Silicón	1.33
Encendedor	0.29
Total	Aprox. 5.33
ELECTRODO DE VIDRIO	
Marca	Dólar
Electrodo para pH /HANNA	146.50
Electrodo de vidrio /OHAUS	243.86
Electrodo de vidrio/ ANALYTICAL SENSORS	125.99
MILWAUKEE	208.40

- Comparación en los costos de potenciómetros contra multímetros.

Potenciómetro		Multímetro	
Marca	Dólar	Marca	Dólar
HANNA	484.71	Truper	17.53
Jenway	639.26	Uni-T	17.66
Hm Digital	340.89	Steren	63.39

El electrodo electropulido-electropulido tiene un costo actual de elaboración de alrededor de 5.33 UDS (mientras que el Electrodo de vidrio comercial tiene un costo actual de alrededor de 246.83 USD), debido a su forma y construcción es posible modificar su tamaño el diseño de este y realizar valoraciones utilizando volúmenes de tres mililitros de alícuota e incluso menos.

Por otra parte, en la actualidad un potenciómetro tiene un costo de alrededor de 639.26 USD mientras que un multímetro tiene un costo de alrededor de 63.39 USD; por el precio de un potenciómetro se podrían adquirir un aproximado de 9 multímetros.

Se compararon precios vigentes de electrodos comerciales de vidrio y potenciómetros (886.09 USD) y se pudo comprobar que al elaborar un electrodo electropulido-electropulido y utilizar un multímetro (68.72 USD) se reducen costos significativamente.

GLOSARIO

ÁCIDO: Sustancia que en disolución incrementa la concentración de H^+ .

AMPERE (A): Es la intensidad de la corriente eléctrica que produce una fuerza exactamente igual a 2×10^{-3} N/m, cuando dicha corriente circula en uno de dos conductores paralelos infinitamente largos, de sección transversal despreciable y separados a una distancia de 1m en el vacío.

ANALITO: Es un término utilizado sobre todo en la química analítica, análisis químico, etc., donde hace referencia a una sustancia, la cual puede ser un ion, un elemento, o incluso un compuesto determinado, que posee un interés en nuestra muestra, pues es la parte que deseamos analizar.

ÁNODO: Electrodo en el que se realiza una oxidación.

BASE: Sustancia que reduce la concentración de H^+ cuando se añade al agua.

BURETA: Tubo de vidrio calibrado provisto de una llave de paso en el extremo inferior, se utiliza para verter volúmenes conocidos de líquido.

CÁTODO: Electrodo donde tiene lugar la reducción.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S): Expresa que tanto se agrupan los datos alrededor de la media.

ELECTRODO: Dispositivo a través del cual circula electrones hacia o desde especies químicas implicadas en una reacción redox.

ELECTRODO E-E: Electrodo electropulido-electropulido

ELECTROPULIDO: Mejora de la rugosidad y del brillo de la superficie del metal convirtiéndolo en el ánodo de una solución apropiada.

H_3PO_4 : Ácido fosfórico.

KNO_3 : Nitrato de potasio.

MOLARIDAD (M): Numero de moles de soluto por litro de solución.

(n): Número total de valores.

NaOH: Hidróxido de Sodio.

OXIDACIÓN: Proceso químico que involucra la pérdida de electrones o aumento en el número de oxidación.

PROMEDIO (\bar{X}): Suma de todos los valores numéricos dividida entre el número de valores para obtener un número que pueda representar de la mejor manera a todos los valores del conjunto.

POTENCIÓMETRO: Dispositivo que mide el potencial eléctrico equilibrándolo con un potencial conocido de signo opuesto.

REDUCCIÓN: Proceso químico que involucra la ganancia de electrones o decremento del estado de oxidación.

VARIANZA: es una de las medidas de dispersión , que es una medida de cuánto pueden diferir los valores en el conjunto de datos de la media de los valores. Es el promedio de los cuadrados de las desviaciones de la media. La cuadratura de las desviaciones asegura que las desviaciones negativas y positivas no se anulan entre sí.

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.

- Figura 1. Celda para determinaciones potenciométricas., 3
- Figura 2. Vista frontal esquemática de un multímetro digital., 6
- Figura 3. Esquema de los dos electrodos usados comúnmente para medir pH., 7
- Figura 4. Electropulido., 9
- Figura 5. Microfotografía de proceso., 10
- Figura 6. Diagrama del montaje experimental para llevar acabo el electropulido del acero 316., 13
- Figura 7. Montaje experimental utilizado para llevar acabo el electropulido del acero 316., 14
- Figura 8. Vaso con los electrodos electropulidos., 14
- Figura 9. Diagrama del montaje experimental a utilizar para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH, a fin de comparar un electrodo comercial de vidrio con un electrodo electropulido-electropulido usando potenciómetro., 15
- Figura 10. Montaje experimental empleado para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH, a fin de comparar un electrodo comercial de vidrio con un electrodo electropulido-electropulido usando potenciómetro., 16
- Figura 11. Curva promedio de cuatro valoraciones de H_3PO_4 [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo de vidrio combinado pH en función de volumen agregado usando potenciómetro., 17
- Figura 12. Curva promedio de cuatro valoraciones de H_3PO_4 [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo E-E, potencial en función de volumen agregado usando potenciómetro., 17
- Figura 13. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo E-E., 18
- Figura 14. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo de vidrio combinado., 19
- Figura 15. Diagrama del montaje experimental a utilizar para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH, a fin de comparar un multímetro con un potenciómetro., 21
- Figura 16. Montaje experimental empleado para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH, a fin de comparar un multímetro con un potenciómetro., 22
- Figura 17. Curva promedio de cuatro valoraciones de H_3PO_4 [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo de vidrio combinado pH en función de volumen agregado usando potenciómetro., 23
- Figura 18. Curva promedio de cuatro valoraciones de H_3PO_4 [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando E-E, potencial en función de volumen agregado, usando un multímetro., 23
- Figura 19. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo E-E usando un multímetro., 24
- Figura 20. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo de vidrio combinado, usando potenciómetro., 25

- Figura 21. Diagrama del montaje experimental a utilizar para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH , utilizando E-E encapsulado, a fin de comparar el multímetro con el, 27
- Figura 22. Montaje experimental empleado para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH , utilizando E-E encapsulado, a fin de comparar el multímetro con el potenciómetro., 28
- Figura 23 . Curva promedio de tres valoraciones de H_3PO_4 [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo de vidrio combinado pH en función de volumen agregado usando potenciómetro., 29
- Figura 24. . Curva promedio de tres valoraciones de H_3PO_4 [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo E-E encapsulado, potencial en función de volumen agregado usando un multímetro., 29
- Figura 25. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo E-E usando un multímetro., 30
- Figura 26. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo de vidrio combinado, usando potenciómetro., 31
- Figura 27. Diagrama del montaje experimental a utilizar para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH , a fin de comparar un electrodo comercial de vidrio con un electrodo E-E con conexiones, usando potenciómetro., 33
- Figura 28. Montaje experimental empleado para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH , a fin de comparar el electrodo E-E encapsulado y el electrodo de vidrio, utilizando potenciómetros., 34
- Figura 29. Curva promedio de cinco valoraciones de H_3PO_4 [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo de vidrio combinado, pH en función de volumen agregado usando potenciómetro., 35
- Figura 30. Curva promedio de cinco valoraciones de H_3PO_4 [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo E-E c/conexión, potencial en función de volumen agregado usando un potenciómetro., 35
- Figura 31. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo E-E usando un potenciómetro., 36
- Figura 32. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo de vidrio combinado, usando potenciómetro., 37
- Figura 33. Diagrama del montaje experimental a utilizar para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH , a fin de comparar un multímetro con un potenciómetro., 39
- Figura 34. Montaje experimental a utilizar para realizar una valoración de H_3PO_4 con NaOH , a fin de comparar un multímetro con un potenciómetro., 40
- Figura 35. Curva promedio de tres valoraciones de H_3PO_4 [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo de vidrio combinado, pH en función de volumen agregado usando potenciómetro., 41
- Figura 36 . Curva promedio de cuatro valoraciones de H_3PO_4 [0.01M] con NaOH [0.03M] utilizando electrodo E-E c/conexión, potencial en función de volumen agregado usando un multímetro., 41

- Figura 37. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo E-E usando un multímetro., 42
- Figura 38. Aplicación del método de la primera derivada para la determinación del punto final en la valoración potenciométrica de H_3PO_4 con NaOH como valorante, para el electrodo de vidrio combinado, usando potenciómetro., 43
- Tabla 1. Comparación de volumen de punto de equivalencia en una valoración de H_3PO_4 con NaOH para el electrodo de vidrio y el electrodo electropulido-electropulido., 20
- Tabla 2. Comparación de volumen de punto de equivalencia para el electrodo de vidrio con potenciómetro y el electrodo electropulido-electropulido con multímetro., 26
- Tabla 3. Comparación de volumen de punto de equivalencia para el electrodo de vidrio y el electrodo electropulido-electropulido encapsulado., 32
- Tabla 4. Comparación de volumen de punto de equivalencia para el electrodo de vidrio y el electrodo electropulido-electropulido encapsulado con conexión., 38
- Tabla 5. Comparación de volumen de punto de equivalencia para el electrodo de vidrio, utilizando potenciómetro y el electrodo electropulido-electropulido encapsulado con conexión usando multímetro., 44
- TABLA 6. INTERPRETACION PARA EL COEFICIENTE DE VARIACIÓN, 45
- TABLA 7. TABLA DE COMPARACIÓN USANDO POTENCIÓMETROS., 46
- TABLA 9. TABLA DE COMPARACIÓN USANDO MULTIMETRO., 48
- TABLA 10. CALCULO DE LA T DE STUDEN PARA COMPRACION DEL ELECTRODO E-E Y MULTIMETRO., 49

BIBLIOGRAFÍA.

- I. Harris, C. D. (1991). Análisis químico cuantitativo. México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- II. Harris, D.C. (2001). Análisis Químico Cuantitativo. España: Reverté S.A.
- III. Hepler, L. (1965). Principios de Química. España: Reverté S.A.
- IV. Ibáñez, J. G. (2000). La química en microescala en México: Hacia una panorámica general. Educación química, 11(1), 168-171.
- V. Johnson, R. (1970). Introducción a la química descriptiva. España: Reverté, S.A.
- VI. Orozco, D. F. (1997). Análisis químico cuantitativo. México: Editorial Porrúa.
- VII. Pérez, S. J. de J., Rincón, A. S. (2003). Potenciometría con volúmenes a microescala en educación. Revista Educación Química. ISSN 0187-893-X. Segunda Época 14(3), 148-151.
- VIII. Pérez, S. J. de J., Rincón, A. S. & Hernández C. C. (2011). Potenciometría de oxidorreducción a microescala en docencia. Revista Tecnología en marcha. ISSN. 0379-3982 Vol. 24-2.
- IX. Pérez, Rincón, Fuentes. (2014). Elaboración y prueba de un electrodo para la cuantificación de cloruro de potasio y bromuro de potasio. Tecnología en Marcha, 27, 80-87.
- X. Pérez, S. J. de J., Rincón, A. S. & Tenorio, M. H. (2013). Construcción de un electrodo combinado posai-posai para microvaloraciones ácido-base. Tecnología en Marcha, 26(4).
- XI. Skoog, D. (2001). Principios de Análisis Instrumental. España: McGraw-Hill.
- XII. Skoog, D., West, D. & Holler, J. (1995). Química Analítica. Colombia: McGraw-Hill.
- XIII. Skoog, D., West, D., Holler, J. & Stanley, C. (2005). Fundamentos de Química Analítica. México: Thomson.
- XIV. Torres, E. E. & Castellón, S. A. J. P. (2000). Minimización del impacto ecológico empleando microescala en los laboratorios de enseñanza química. Educación química, 11(2), 262-266.

CIBERGRAFÍA.

- I. Alenka K., Bruselas (2010). Electropulido de aceros inoxidables. Febrero 2010, de Euro Inox. Recuperado del Sitio web: http://www.worldstainless.org/Files/issf/nonimagefiles/PDF/Euro_Inox/Electropolishing_SP.pdf. Feb. 2018
- II. Alquimica (2011). Potenciometría. Química y Ciencia. Marzo 2011. Recuperado del Sitio web: <http://laquimicaylaciencia.blogspot.com/2011/03/potenciometria.html> Julio, 2018
- III. Brunatti C. & De Napoli H. Métodos Potenciométricos. Recuperado del Sitio web: <http://materias.fi.uba.ar/6305/download/Metodos%20Potenciométricos.pdf> Septiembre, 2018

- IV. Bussi J. (2004). Electrodo para medir pH. XIII Seminario de Ing. Biomédica 2004. Recuperado del Sitio web: <http://www.nib.fmed.edu.uy/Ciganda.pdf>
- V. El multímetro (s.f). Universidad del País Vasco. Recuperado del Sitio web: <http://www.ehu.eus/rperez/TE1/docu/multimetros.pdf> Septiembre, 2018
- VI. PANAMAHITEK (s.f). Potenciómetro. Recuperado del Sitio web: <http://panamahitek.com/potenciometro-digital-el-circuito-integrado-x9c103p/septiembre, 2018>
- VII. www.eldolar.info/es-MX/mexico/dia/hoy Miércoles 19-sep-2018