



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**ELECTRODOS POSAI COMO ALTERNATIVA
PARA VALORACIONES ÁCIDO-BASE**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A N:

**HERNÁNDEZ MACÍAS CRISTIAN FRANCISCO
MONTIEL FRANCO RODRIGO**

ASESOR DE TESIS:

DR. JOSÉ DE JESÚS PÉREZ SAAVEDRA

COASESOR DE TESIS:

DR. JULIO CESAR BOTELLO POZOS

Cuautitlán 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
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
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

Electrodos POSAI como alternativa para valoraciones Ácido-Base.

Que presenta el pasante: **Cristian Francisco Hernández Macías**
Con número de cuenta: 413021032 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 07 de Marzo de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. José de Jesús Pérez Saavedra	
VOCAL	Dr. Ricardo Paramont Hernández García	
SECRETARIO	M.E. María Teresa Ylizaliturri Gómez Palacio	
1er. SUPLENTE	M. 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
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

**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

Electrodos POSAI como alternativa para valoraciones Ácido-Base.

Que presenta el pasante: **Rodrigo Montiel Franco**
Con número de cuenta: **413098441** 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 07 de Marzo de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. José de Jesús Pérez Saavedra	
VOCAL	Dr. Ricardo Paramont Hernández García	
SECRETARIO	M.E. María Teresa Ylizaliturri Gómez Palacio	
1er. SUPLENTE	M. 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

Cristían Francisco Hernández Macías

A mis padres: Héctor Hugo Hernández Chávez y Ma Guadalupe Macías Vega, por que sin ellos no podría llegar hasta aquí, contando siempre con su apoyo y cuidado, ser mi ejemplo, pues es un orgullo ser hijo de ustedes, que son tan perseverantes y nos han brindado todo el amor posible a mis hermanos y a mí esperando a cambio nuestro éxito. Ser un apoyo en todo este camino.

A mi novia: Esther Estephanie Rueda Solís por estar conmigo a lo largo de este trayecto que fue la universidad, por brindarme tu cariño, apoyo, siempre darme palabras de aliento, los buenos y malos momentos, sabes que te amo y doy gracias de tenerte en mi vida.

A mi familia: Que aun cuando no he logrado convivir como quisiera, han estado presentes ante cualquier adversidad que se nos ha presentado y saber que siempre estarán presentes.

A mis amigos: Por los momentos gratos y los no tanto, es un gusto el poder conocerlos, cada uno a su manera sin igual, por escucharme ante las dificultades, todas las risas que me han hecho pasar, bromas, palabras, no hay duda que hicieron este trayecto más fácil de superar, José Luis, Guillermo, Diego, Carlos, Juan, Erick, Yazmín, Yoselin, Adriana y sobre todo a Rodrigo pues con él fue con quien lleve a cabo este proyecto. Les deseo lo mejor y es un placer el haberlos conocido.

A mis asesores: el Dr. José de Jesús Pérez Saavedra y al Dr. Julio Cesar Botello Pozos por brindarnos la oportunidad de llevar a cabo este proyecto, el contar con su apoyo antes las dudas que se nos fueron planteando, el material que nos brindaron confiando en que le daríamos el mejor uso posible, el interés mostrado y compartir su experiencia.

A la FES-CUAUTITLAN: Que fue una segunda casa durante 5 años, es un orgullo ser parte de ella y haber logrado concluir, contando con el apoyo de sus docentes.

A nuestros laboratoristas: Eric y el Sr. Ángel (Q.E.P.D) por hacer este corto tiempo del proyecto, más ameno brindando una excelente atención, pláticas y risas dentro del laboratorio.

Al proyecto DGAPA PAPIME 201818: por el apoyo brindado para la realización del trabajo.

Al Sr. Drauncig Jiménez Celi: por el apoyo brindado con la elaboración de material de vidrio indispensable para este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Rodrigo Montiel Franco

A Dios: por darme la fortaleza para no rendirme nunca.

A mis padres: por el amor y apoyo brindado no solo hoy sino también a lo largo de mi vida. A mi madre Adriana Josefina por creer en mí y dedicarme las mejores palabras en los momentos justos, por criarme siempre con los mejores valores y el mejor ejemplo, por brindarme un amor que no terminara con el tiempo, por todo esto y más gracias mamá te amo. A mi padre Rodolfo Montiel por enseñarme el valor del trabajo, por compartir sus conocimientos y sabiduría, por demostrarme el valor de la solidaridad, siempre ayudando a los demás no importando quien sea. Gracias pa.

A mis hermanos: por todo el apoyo y afecto que recibo día con día, por momentos tristes, pero sobre todo por esos momentos tan alegres que hemos vivido juntos, gracias hermanos los amo. A mi hermana María Guadalupe por darme el apoyo incondicional a lo largo de la carrera, por ser una persona que pone las necesidades de los demás siempre por encima de las suyas, por tener esa gran simpatía que me hace reír tanto, no tendría este logro sin tí, eres sin duda una de las personas que más admiro, te quiero mucho Lupis. Gracias también a tí José Rodolfo por ser el hermano protector que siempre me cuida, por demostrarme que hay que levantarnos cuando nos caemos y por siempre sacarme una buena carcajada con tus comentarios y un agradecimiento especial a tí y a tu esposa Edith por traer a nuestras vidas a esas dos lindas personas Regina y Emilio que son una inspiración para querer y hacer que este mundo sea mejor cada día.

A mi familia: por compartir conmigo toda su experiencia, cada uno contribuyo con un fragmento de la formación de mi persona, les estoy muy agradecido a todos; a mis abuelos, a mis tíos y tías, a mis primos y primas y sobrinos, de cada uno de ustedes he aprendido distintas e importantes lecciones, gracias por demostrarme su

cariño, por siempre mostrar esa actitud tan alegre que los caracteriza, estoy muy orgulloso de pertenecer a esta familia, muchas gracias.

***A mis amigos:** por los grandes momentos que pasamos juntos a lo largo de la carrera algunos difíciles pero la gran mayoría de alegría, estoy feliz por haber conocido a cada uno de ustedes con sus muy distintas personalidades que los distingue, me han enseñado mucho y quisiera ser su amigo mucho tiempo más, gracias a Erick, Arturo, Guillermo, Carlos Uriel, Daniel, Juan Carlos, José Luis y a un gran amigo que comparte este gran logro conmigo Cristian.*

***A mis asesores:** el Dr. José de Jesús Pérez Saavedra y al Dr. Julio Cesar Botello Pozos por compartir un poco de sus conocimientos con nosotros, por mostrar un interés significativo en el proyecto, por todo el asesoramiento y apoyo brindado, por resolver nuestras dudas siempre con la mejor disposición y atención, gracias por tendernos la mano y mostrarnos un ejemplo de profesionalismo.*

***A los laboratoristas:** Eric y a Don Ángel (Q. E. P. D.), que siempre nos brindaron la atención debida mostrando una sonrisa, y por compartir algunos buenos momentos en el laboratorio con nosotros.*

***Al proyecto DGAPA PAPIME 201818:** por el apoyo brindado para la realización del trabajo.*

***Al Sr. Drauncig Jiménez Celí:** por el apoyo brindado con la elaboración de material de vidrio indispensable para este proyecto.*

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	10
2.	MARCO TEÓRICO.....	11
2.1	POTENCIOMETRÍA	11
2.1.1	<i>Potenciometría directa</i>	11
2.1.2	<i>Valoraciones potenciométricas</i>	11
2.2	ELECTRODOS	12
2.2.1	<i>Electrodos de referencia</i>	12
2.2.1.1	Electrodos calomelanos.....	13
2.2.1.2	Electrodo de plata - cloruro de plata.....	13
2.2.2	<i>Electrodo indicador</i>	14
2.2.2.1	Electrodo selectivo de iones.....	14
2.2.2.1.1	Electrodo de vidrio combinado	14
2.2.2.2	Electrodos metálicos.....	15
2.2.2.2.1	Electrodos de primera especie.....	15
2.2.2.2.2	Electrodos de segunda especie.....	16
2.2.2.2.3	Electrodos redox inertes (tercera especie)	16
2.3	ELECTRODO POSAI.....	16
2.4	VALORACIONES ÁCIDO-BASE	17
3.	OBJETIVOS.....	18
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	18
3.2	OBJETIVOS PARTICULARES	18
4.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	19
4.1	MATERIALES	19
4.2	ELABORACIÓN DE LAS SOLUCIONES	20
4.3	ELABORACIÓN DEL ELECTRODO POSAI	21
4.3.1	<i>Tratamiento del electrodo (POSAI)</i>	21
4.3.2	<i>Elaboración del electrodo combinado POSAI-POSAI</i>	22
4.4	PRUEBA DEL ELECTRODO.....	23
4.5	PRUEBA DE T DE STUDENT	25
5.	RESULTADOS	25
5.1	VALORACIONES DEL ELECTRODO POSAI-POSAI ENCAPSULADO.....	26
5.1.1	<i>Valoraciones de HNO₃</i>	26
5.1.1.1	Concentración 0.0862 M	26
5.1.1.2	Concentración 0.00862 M	27
5.1.1.3	Concentración 0.0053 M	28
5.1.2	<i>Valoraciones de NaOH</i>	29
5.1.2.1	Concentración 0.095 M	29
5.1.2.2	Concentración 0.0095 M	30
5.1.2.3	Concentración 0.0055M	31
5.2	VALORES DE “T DE STUDENT” Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR COMBINADA.....	32
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
7.	CONCLUSIONES.....	36
8.	BIBLIOGRAFIA.....	37
	ANEXO I.....	38
	CÁLCULOS DE LA PREPARACIÓN DE SOLUCIONES.....	38

ANEXO II.....	41
TABLAS DE LOS RESULTADOS DE LAS VALORACIONES	41
<i>Electrodo 1 Semi-encapsulado</i>	<i>41</i>
<i>Electrodo 2 Semi-encapsulado</i>	<i>43</i>
<i>Electrodo 1 Encapsulado.....</i>	<i>45</i>
<i>Electrodo 2 Encapsulado.....</i>	<i>57</i>
ANEXO III.....	69
VALORACIONES DEL ELECTRODO 1 SEMI-ENCAPSULADO.....	69
ANEXO IV	75
VALORACIONES DE ELECTRODO 2 SEMI-ENCAPSULADO	75
ANEXO V	81
VALORACIONES DEL ELECTRODO 1 ENCAPSULADO.....	81
ANEXO VI	99
VALORACIONES DEL ELECTRODO 2 ENCAPSULADO.....	99
ANEXO VII	117
CÁLCULO DE LA “T DE STUDENT” A TRAVÉS DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR COMBINADA.....	117

1. INTRODUCCIÓN

En la materia de Química Analítica impartida en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-C) constantemente se realizan valoraciones potenciométricas ácido-base las cuales emplean equipos muy costosos como es el caso de los electrodos comerciales. Esto ocasionó que un equipo de trabajo dirigido por el Dr. José de Jesús Pérez Saavedra se enfocara a la realización de investigaciones dedicadas a la búsqueda de alternativas de electrodos usados en técnicas potenciométricas, dichas investigaciones finalizan en trabajos de tesis y publicación de artículos. Estos trabajos comenzaron a llevarse a cabo desde el año 1991, algunos ejemplos son: Películas de Óxidos Sobre Acero Inoxidable 316 (POSAI 316) como electrodo indicador de pH en medio no acuoso (Francisco García, José J. Pérez y Socorro Márquez 1995), Comparación entre electrodos POSAI y electrodos Comerciales en la titulación potenciométrica de Sulfametoxazol y trimetoprima (Graciela Romero, Álvaro López, Sonia Rincón, José J. Pérez, Juan C. Pescador, Adir J. Pérez 2011).

El presente trabajo surge en base a los trabajos anteriormente mencionados para fortalecer las investigaciones en electrodos alternativos, principalmente en valoraciones potenciométricas ácido-base.

Se sabe que los electrodos POSAI son sensibles a los iones H^+ , es por este motivo que pueden ser utilizados en las titulaciones potenciométricas tanto como electrodo indicador como de referencia (mantenido en una solución a concentración de H^+ constante, de esta manera el potencial será constante).

En el presente trabajo se mostrará un estudio experimental comparativo con el electrodo de pH (Electrodo Selectivo de Iones) utilizado en la FES-C en la sección de Química Analítica y un electrodo alternativo; dicho electrodo consistirá de un sistema POSAI-POSAI con el propósito de reducir el costo de adquisición.

Para este trabajo se llevaron a cabo valoraciones ácido-base, usando un ácido (HNO_3) como titulante y analito de igual manera una base ($NaOH$).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Potenciometría

La potenciometría se basa en la medida del potencial eléctrico (respecto a una referencia) de un electrodo sumergido en la disolución problema, a partir de la cual es posible establecer la concentración de la misma directa o indirectamente. Las técnicas potenciométricas han sido utilizadas para encontrar puntos finales en las valoraciones. En métodos más recientes, las concentraciones de un ion se miden de manera directa a partir del potencial de electrodos de membrana ion-selectivos.

El equipo para los métodos potenciométricos es sencillo, incluye un electrodo de referencia, un electrodo indicador y un aparato para medir el potencial.

2.1.1 Potenciometría directa

Consiste en la determinación de la actividad de una especie de forma directa, a través de la medida de un potencial eléctrico, está limitada a la medida de potenciales de equilibrio de sistemas rápidos, a los que puede aplicarse la ecuación de Nernst. Sin embargo, es posible realizar la sustitución de la actividad a concentración, pues se conoce que la actividad es igual al coeficiente de actividad por la concentración, donde comúnmente se considera a el coeficiente de actividad como 1. $A_c = [C]\gamma_c$

$$E = E^0 + \frac{0.0592}{n} \log \frac{a_{ox}}{a_{red}} \therefore E = E^0 + \frac{0.0592}{n} \log \frac{[Ox]}{[Red]}$$

2.1.2 Valoraciones potenciométricas

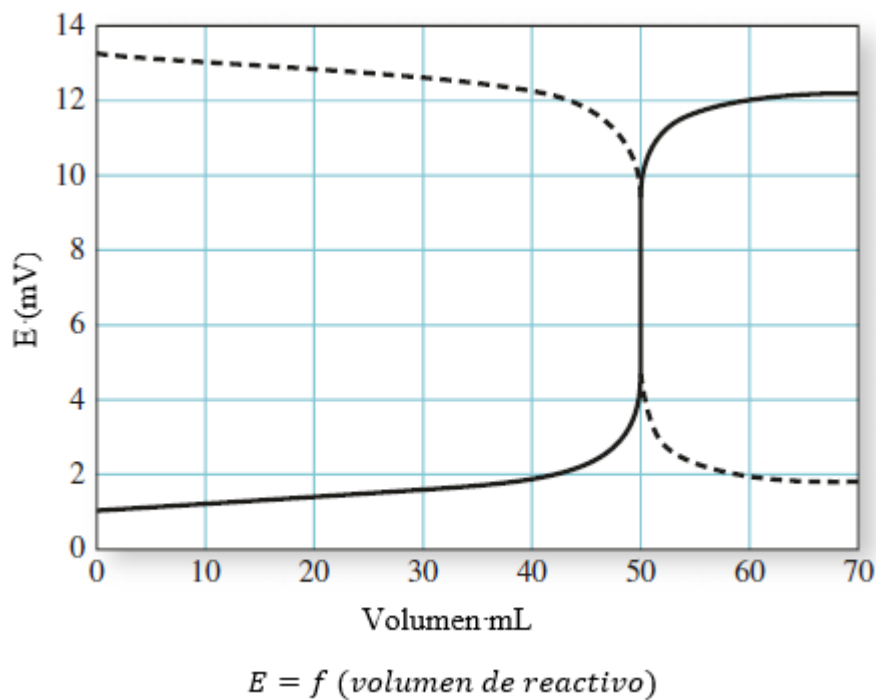
Una valoración potenciométrica consiste en utilizar la potenciometría para seguir la concentración de una o más especies a lo largo de una valoración, indicando el punto final.

Durante las valoraciones se mide el cambio en el potencial del correspondiente electrodo indicador (respecto a una referencia) en función del volumen de reactivo añadido. Debido a que no se miden potenciales absolutos, sino cambios en el

potencial, no es necesario considerar potenciales de unión líquida, ni coeficientes de actividad.

Una valoración volumétrica comprende dos tipos de reacciones:

- Una reacción química, que tiene lugar por adición de cantidades conocidas de un reactivo, el cual se añade desde una bureta.
- Una o varias reacciones electroquímicas indicadoras de la actividad de alguna de las especies que participa en la reacción. El potencial medido varía en el curso de la valoración y el punto de equivalencia viene indicado por un punto singular en la curva de valoración.



(Hernandez, L. & González, C. 2002)

2.2 Electrodo

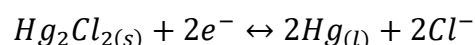
2.2.1 Electrodo de referencia

Electrodo de referencia: es un electrodo que mantiene constante el valor de su potencial. Los más utilizados son el de plata-cloruro de plata y el de calomelanos.

2.2.1.1 Electrodo calomelanos

El electrodo de calomelanos consiste en una pasta de mercurio metálico y cloruro de mercurio (I) (calomelano) contenida en un tubo interno y que está en contacto con la disolución saturada de cloruro de potasio de un tubo externo mediante una pequeña abertura. Un hilo de platino sumergido en la pasta de mercurio/cloruro de mercurio (I) permite la conexión del electrodo con el potenciómetro. (Figura 2.1)

La semirreacción de reducción del par Hg_2Cl_2/Hg es:



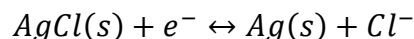
Y el potencial puede expresarse mediante la ecuación:

$$E = E_0 - \frac{0.0592}{2} \log[Cl^-]^2$$

El electrodo se mantiene a una concentración de cloruros constante debido a la solución saturada de KCl.

2.2.1.2 Electrodo de plata - cloruro de plata

El electrodo de plata-cloruro de plata consiste en un hilo de plata sobre el que se deposita cloruro de plata y que está sumergido en una disolución acuosa de cloruro de potasio saturada con cloruro de plata. La semirreacción de reducción del par $AgCl/Ag$ es:



Y la expresión del potencial correspondiente es:

$$E = E_0 - 0.0592 \log[Cl^-]$$

El potencial depende de la concentración de iones cloruro, que permanece constante, debido a la solución saturada de KCl.

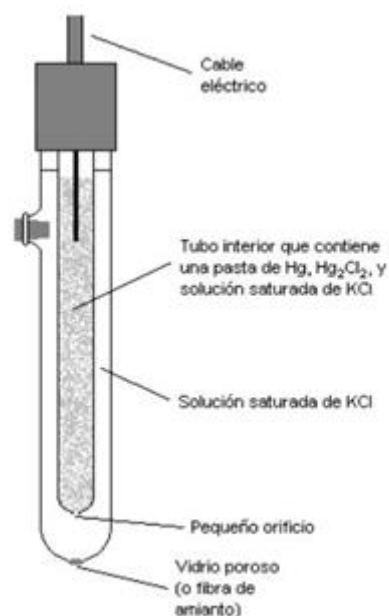


Figura 2.1 Electrodo de calomel

(Guiteras, J., Rubio, R. & Fonrodona, G.)

2.2.2 Electrodo indicador

El electrodo indicador, inmerso en una disolución del analito, desarrolla un potencial, E_{ind} , que depende de la actividad del analito. La mayoría de los electrodos indicadores que se utilizan en potenciometría tienen una respuesta selectiva.

Un electrodo indicador ideal responde de manera rápida y reproducible a los cambios en la concentración de un ion analito (o de un grupo de iones analito). Aunque ningún electrodo indicador tiene una respuesta absolutamente específica, en la actualidad existen algunos que son muy selectivos. Los electrodos indicadores son de tres tipos: metálicos, de membrana y transistores de efecto de campo sensible a iones.

(Skoog, D., Stanley, R. y Holler, J. 2008)

2.2.2.1 Electrodo selectivo de iones

Este electrodo consiste en una membrana que responde selectivamente a un determinado ion, y que está en contacto, por una parte, con una disolución con la especie a determinar, y por otra, generalmente con una disolución del mismo (a una actividad fija), la cual esta a su vez en contacto con un electrodo de referencia. La membrana modifica el transporte de materia, como consecuencia de lo cual se origina una diferencia de potencial, que es función de la composición de las disoluciones en ambos lados.

2.2.2.1.1 Electrodo de vidrio combinado

Sonda combinada (Figura 2.2) que consiste tanto del electrodo indicador de vidrio como de un electrodo de referencia de plata/cloruro de plata. Los dos electrodos están acomodados de manera concéntrica, con el electrodo de referencia interno en el centro y el de referencia en el exterior.

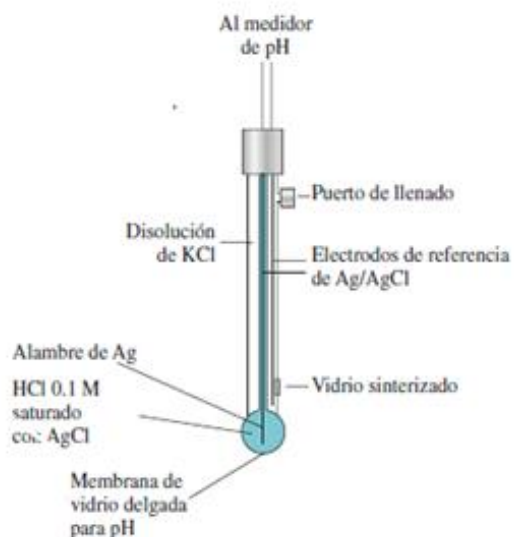


Figura 2.2 Electrodo de vidrio

El electrodo de referencia hace contacto con la disolución del analito a través del vidrio sinterizado u otro medio poroso adecuado. Las sondas combinadas son la configuración para los electrodos de vidrio y la referencia más comunes para medir pH.

2.2.2.2 Electrodos metálicos

Es conveniente clasificar los electrodos indicadores metálicos en electrodos de primera especie, electrodos de segunda especie y electrodos redox inertes.

2.2.2.2.1 Electrodos de primera especie

Un electrodo de primera especie es un electrodo de metal puro que está en equilibrio directo con su catión en la disolución. Solo hay una reacción involucrada.

Por muchas razones, los sistemas de electrodos de primera especie no son ampliamente utilizados en determinaciones potenciométricas. En primer lugar, los electrodos metálicos indicadores no son muy selectivos y responden no solo a sus propios cationes, sino también a otros que se reducen más fácilmente. Por ejemplo, un electrodo de cobre no puede ser utilizado para la determinación de iones cobre (II) en la presencia de iones plata (I) debido a que el potencial de electrodo depende también de la concentración de Ag^+ dado que el potencial de esta es más alto. Además, muchos electrodos metálicos, como los de zinc y cadmio, solo pueden ser utilizados en disoluciones neutras o básicas debido a que se disuelven en la presencia de ácidos.

Tercero, otros metales se oxidan tan fácilmente que solo pueden ser utilizados cuando las disoluciones del analito son desaireadas para eliminar el oxígeno. Finalmente, ciertos metales más duros, como el hierro, el cromo, el cobalto y el níquel, no producen potenciales reproducibles. Para estos electrodos, las gráficas de E_{ind} frente a pX producen pendientes que difieren de manera significativa e irregular de las pendientes teóricas $(-0.0592/n)$. Por estas razones, los únicos sistemas de electrodos de primera especie que se ha utilizado en potenciometría son el de Ag/Ag^{2+} y el de Hg/Hg^{2+} en disoluciones neutras y los de Cu/Cu^{2+} , Zn/Zn^{2+} , Cd/Cd^{2+} , Bi/Bi^{3+} , Tl/Tl^+ y Pb/Pb^{2+} en disoluciones desaireadas.

Una expresión general para cualquier metal y su catión es:

$$E_{ind} = E_{X^{n+}/X}^0 + \frac{0.0592}{n} \log a_{X^{n+}} = E_{X^{n+}/X}^0 - \frac{0.0592}{n} pX$$

(Skoog, D., Stanley, R. & Holler, J. 2008)

2.2.2.2.2 Electrodo de segunda especie

Los metales no solo funcionan como electrodos indicadores para sus propios cationes, sino que también responden a las actividades de aniones que forman precipitados poco solubles o complejos estables con dichos cationes.

Cuando un electrodo metálico de primera especie se utiliza para medir la actividad de un anión con el que su ion forma un precipitado o un complejo estable se tiene un electrodo de segunda especie.

(Hernandez, L. & González, C. 2002)

2.2.2.2.3 Electrodo redox inertes (tercera especie)

Un electrodo metálico es de tercera especie cuando se utiliza para determinar un catión diferente al suyo. Los metales como el platino, el oro, el paladio y el carbono, pueden ser utilizados para monitorear sistemas redox.

2.3 Electrodo POSAI

Los electrodos POSAI (por las siglas: Película de Óxido Sobre Acero Inoxidable) se basan en la ecuación de Nernst, que para el caso particular del FeO (óxido ferroso) se tiene:

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

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

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

$$E_T = E_{Fe}^0 - 0.0592 pH$$

De acuerdo con esto el electrodo POSAI es un electrodo sensible a la concentración de iones H^+ , por lo que se puede utilizar en titulaciones potenciométricas ácido-base. Si el electrodo se mantiene inmerso en una concentración de iones H^+ constante, el potencial total sería constante y las variaciones de la lectura en el potenciómetro serían debidas al electrodo indicador, por lo que el electrodo POSAI se puede utilizar también como electrodo de referencia.

Para hacer uso de esta propiedad, es decir, utilizarlo como electrodo de referencia es necesario tener en cuenta que se deben utilizar soluciones buffer o amortiguadoras en tal proceso.

2.4 Valoraciones ácido-base

Las valoraciones de neutralización son utilizadas ampliamente para determinar las cantidades de ácidos y bases. Además, las valoraciones de neutralización pueden utilizarse para monitorear el progreso de las reacciones que producen o consumen iones hidrógeno.

En todas las valoraciones debemos tener un método para determinar el punto de equivalencia química. En estas valoraciones es conveniente utilizar la potencimetría para determinar el volumen de equivalencia en forma gráfica.

Una valoración ácido-base procede mediante una reacción de neutralización, en la que se hace reaccionar un ácido con una cantidad equivalente de base. Mediante la construcción de una curva de valoración se puede explicar fácilmente cómo se pueden detectar los puntos finales de éstas.

(Romero, G., López, A., Rincón, S., Pérez, J., Pescador, J. & Pérez, A. 2012)

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Diseñar, elaborar y utilizar un electrodo POSAI-POSAI como sustitución de un electrodo comercial¹, realizando valoraciones ácido-base a distintas concentraciones.

3.2 Objetivos particulares

- a) Comprobar el funcionamiento del electrodo POSAI-POSAI de manera simultánea con el electrodo comercial, por medio de valoraciones ácido-base.
- b) Proponer el uso del electrodo POSAI-POSAI en valoraciones ácido-base como alternativa para reducir los costos de operación a nivel laboratorio.
- c) Comparar resultados en el Punto de Equivalencia en las valoraciones realizadas con ambos electrodos.

¹Electrodo de membrana de vidrio

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

4.1 Materiales

MATERIAL	EQUIPO	REACTIVOS
➤ Trozo de alambre de acero 316	<ul style="list-style-type: none">• Agitador magnético	❖ HNO ₃
➤ Tubo capilar	<ul style="list-style-type: none">• Potenciómetro OAKTON	❖ HCl
➤ Tubo capilar con orificio al costado	<ul style="list-style-type: none">• Balanza analítica	❖ NaOH
➤ Caimanes	<ul style="list-style-type: none">• Parrilla eléctrica	❖ CrO ₃
➤ Hilo de algodón	<ul style="list-style-type: none">• Multímetro marca Steren. Modelo MUL-600	❖ KNO ₃
➤ Silicona líquida	<ul style="list-style-type: none">• Pinzas de ponchado	
➤ Vaso de precipitado 50mL		
➤ Agitadores magnéticos		
➤ Bureta 25mL		
➤ Matraz aforado 100mL		
➤ Matraz aforado 500mL		
➤ Pipeta volumétrica 10mL		
➤ Pipeta volumétrica de 50mL		
➤ Pipeta graduada de 2mL		
➤ Espátula		
➤ Pinzas para bureta		
➤ Vidrio de reloj		
➤ Termómetro		
➤ Lija n°9		
➤ Vaso tequilero		
➤ Piseta		
➤ Soporte universal		

4.2 Elaboración de las soluciones

Los cálculos de la preparación de las soluciones, se encuentran en el ANEXO I

❖ Preparación de NaOH

a) NaOH 0.095 M

Se tomaron 10 mL de una solución de NaOH 5 M grado analítico (con una pipeta volumétrica de 10 mL) y se aforó en un matraz volumétrico de 500 mL, para su posterior estandarización con HCl 0.1 M estándar primario, resultando en una concentración de 0.095 M.

b) NaOH 0.0095 M

De la solución de NaOH 0.095 M se tomaron 50 mL (con una pipeta volumétrica de 50 mL) y se aforó en un matraz volumétrico de 500 mL, posteriormente se estandarizó con una solución de HCl 0.01 M, resultando en una concentración de 0.0095 M.

c) NaOH 0.0055 M

De la solución de NaOH 0.095 M se tomaron 25 mL (con una pipeta volumétrica de 25 mL) y se aforó en un matraz volumétrico de 500 mL posteriormente se estandarizó con una solución de HCl 0.005 M, resultando en una concentración de 0.0055 M.

❖ Preparación de HNO₃

a) HNO₃ 0.0862 M

Se tomaron 3.2 mL de una solución de HNO₃ grado analítico (con una pipeta graduada de 5 mL) y se aforó en un matraz volumétrico de 500 mL posteriormente se valoró con la solución de NaOH 0.095 M, resultando en una concentración de 0.0862 M.

b) HNO_3 0.00862 M

De la solución de HNO_3 0.0862 M se tomaron 50 mL (con una pipeta volumétrica de 50 mL) y se aforó en un matraz volumétrico de 500 mL, posteriormente se valoró con la solución de NaOH 0.0095 M, resultando en una concentración de 0.00862 M.

c) HNO_3 0.0053 M

De la solución de HNO_3 0.0862 se tomaron 30 mL (con una pipeta volumétrica de 30 mL) y se aforó en un matraz volumétrico de 500 mL posteriormente se valoró con una solución de NaOH 0.0055 M, resultando en una concentración de 0.0053 M.

❖ Preparación de KNO_3 saturado

En un volumen de 100 mL se agregó KNO_3 hasta su sobresaturación.

4.3 Elaboración del electrodo POSAI

En la fabricación del electrodo POSAI se utilizó alambre de acero inoxidable calibre 316, del cual se cortaron 4 trozos de 6 cm.

El procedimiento de elaboración consto de dos etapas: tratamiento del alambre de acero inoxidable y elaboración del electrodo combinado POSAI-POSAI. Dado que en la construcción del electrodo se emplearon dos electrodos tipo POSAI, uno como referencia, el cual se encuentra sumergido en una solución conductora sobresaturada de KNO_3 y otro como indicador, implementando una conexión con cable coaxial y campana para su implementación en el potenciómetro.

4.3.1 Tratamiento del electrodo (POSAI)

Las cuatro piezas de alambre de acero inoxidable 316 fueron sometidas a un proceso de limpieza, utilizando para ello un pre lavado con agua destilada y un lavado con alcohol etílico, a fin de la eliminación de cualquier contaminante presente.

El tratamiento posterior para elaborar el electrodo tipo POSAI consistió en sumergir el alambre de acero inoxidable 316 en una solución de CrO_3 concentración 2.5 M con H_2SO_4 concentración 5M por 45 min a una temperatura de rango 70-80°C.

Para finalizar, las cuatro piezas fueron lavadas como se menciona anteriormente.

4.3.2 Elaboración del electrodo combinado POSAI-POSAI

El electrodo se elaboró ensamblando los materiales de la siguiente forma:

- Electrodo Indicador

1. En un tubo capilar se introdujo el electrodo tipo POSAI, de manera que sobresaliera por ambos extremos del tubo capilar (un centímetro aproximadamente) y se selló el extremo inferior del capilar.

- Electrodo de referencia

1. En el tubo capilar con el orificio al costado se introdujo otro electrodo tipo POSAI, a manera que solo sobresaliera por el extremo superior (un centímetro aproximadamente) y se selló el extremo inferior del capilar con silicón.
2. Con ayuda de una aguja se introdujo un pequeño hilo en la parte inferior del capilar, para que éste funcione como puente de agar.
3. Se llenó el sistema con la solución de KNO_3 saturado, por el orificio al costado.

- Electrodo combinado

1. Se realizó el sellado de la parte superior de los capilares.
2. Se lijó ligeramente un costado de los capilares y se unieron con silicón por la parte lijada.
3. Se llevó a cabo la conexión del cable coaxial en los electrodos POSAI por los extremos sobresalientes de los alambres (superiores)
4. Se añadió la campana al cable coaxial para hacer posible la conexión al potenciómetro.

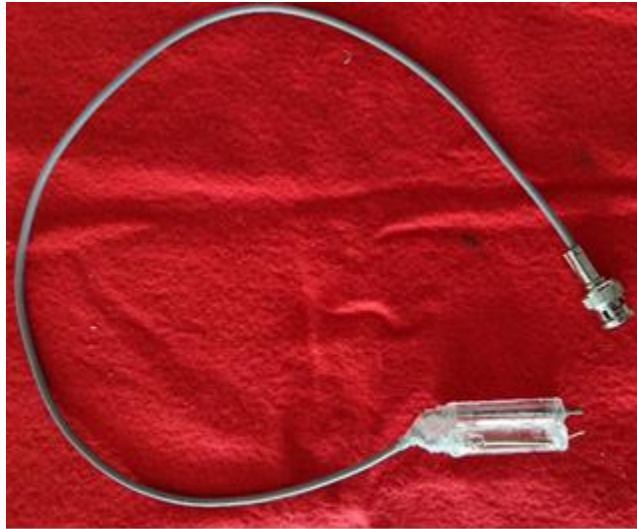


Figura 4.1 Electrodo Alternativo Encapsulado listo para utilizar

4.4 Prueba del electrodo

Para comprobar el óptimo funcionamiento de nuestros electrodos se llevaron a cabo dos pruebas una con los electrodos sellados únicamente por la parte inferior (semi-encapsulado) y otra una vez terminada su elaboración. Para comparar la respuesta se utilizó un electrodo combinado de platino simultáneamente en cada prueba.

El montaje experimental que se utilizó es el siguiente:

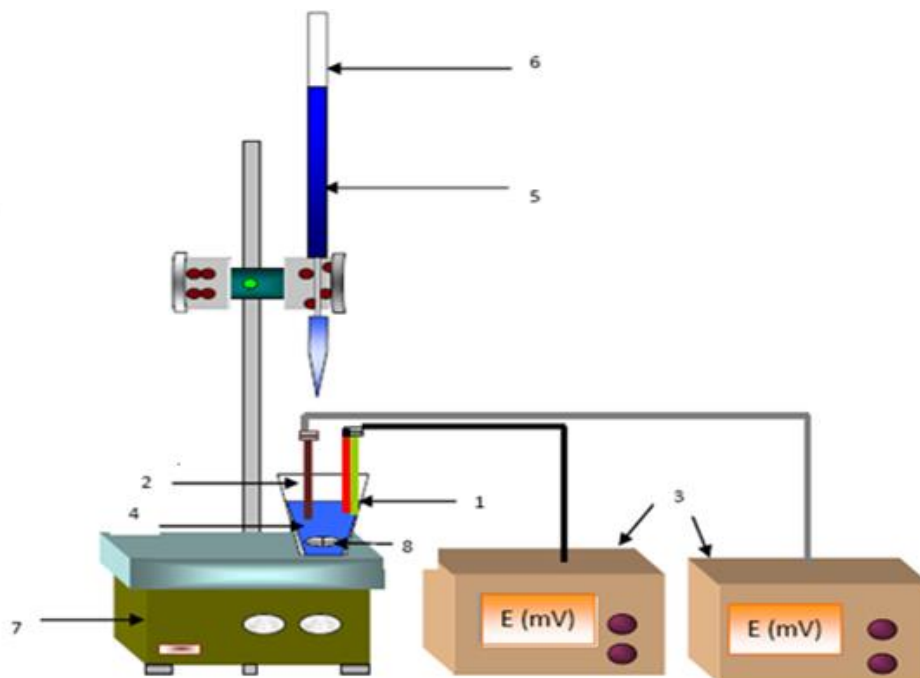


Figura 4.2 Montaje ilustrativo para realizar las valoraciones ácido base usando el electrodo comercial y el electrodo alternativo.

1. Electrodo POSAI-POSAL	5. Solución titulante
2. Electrodo combinado de platino	6. Bureta de vidrio de 25 mL
3. Potenciómetro	7. Agitador magnético
4. Solución base o ácida	8. Barra magnética



Figura 4.3 Fotografía del montaje utilizado para realizar las valoraciones ácido base empleando el electrodo comercial y el electrodo alternativo POSAI-POSAL.

Las soluciones de HNO₃ y NaOH fueron utilizadas tanto como analito como valorante a fin de corroborar el óptimo funcionamiento del electrodo POSAI-POSAI en ambos medios (ácido y base), para lo cual se llevaron a cabo valoraciones con 3 niveles de concentración, en todos los casos se realizaron por triplicado, esto para verificar el método.

4.5 Prueba de t de Student

Una vez finalizada el procedimiento experimental, se procedió a realizar el cálculo de t de Student, el cual consiste de dos ecuaciones según Harris (2007):

La desviación estándar combinada según Harris se obtiene a partir de la ecuación:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{conjunto\ 1} (X_i - \bar{X}_1)^2 + \sum_{conjunto\ 2} (X_j - \bar{X}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad Ec. (4.1)$$

El valor de “t de student” se calculará para ambos conjuntos a partir de:

$$t_{calculada} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S} \sqrt{\frac{(n_1)(n_2)}{n_1 + n_2}} \quad Ec. (4.2)$$

Los valores numéricos asignados, así como el resultado son mostrados en el ANEXO VII.

5. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a lo largo del trabajo experimental, los cuales serán segmentados en 2 secciones, siendo la primera de los electrodos en etapa final (encapsulado) y la segunda los resultados a partir de la prueba t de Student.

Cabe mencionar que en la sección 1 se realizaron valoraciones donde el HNO₃ era colocado como analito y otra donde fungía como valorante e igualmente con el NaOH.

Las gráficas mostradas a continuación, son elaboradas a partir de los datos presentes en las tablas del ANEXO II.

5.1 Valoraciones del electrodo POSAI-POSAI Encapsulado

5.1.1 Valoraciones de HNO₃

5.1.1.1 Concentración 0.0862 M

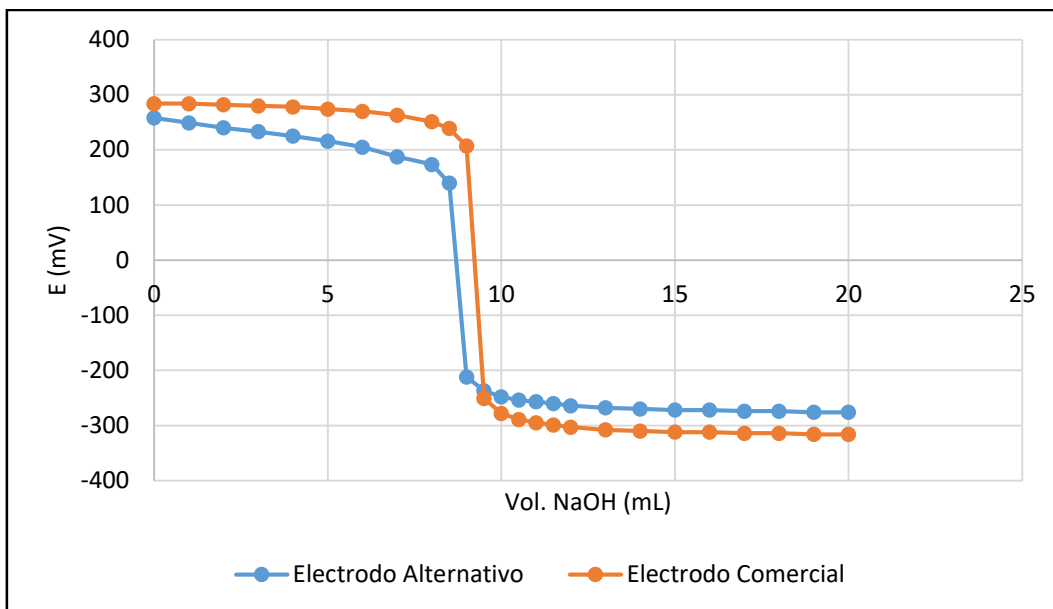


Gráfico 25. Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO₃ 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

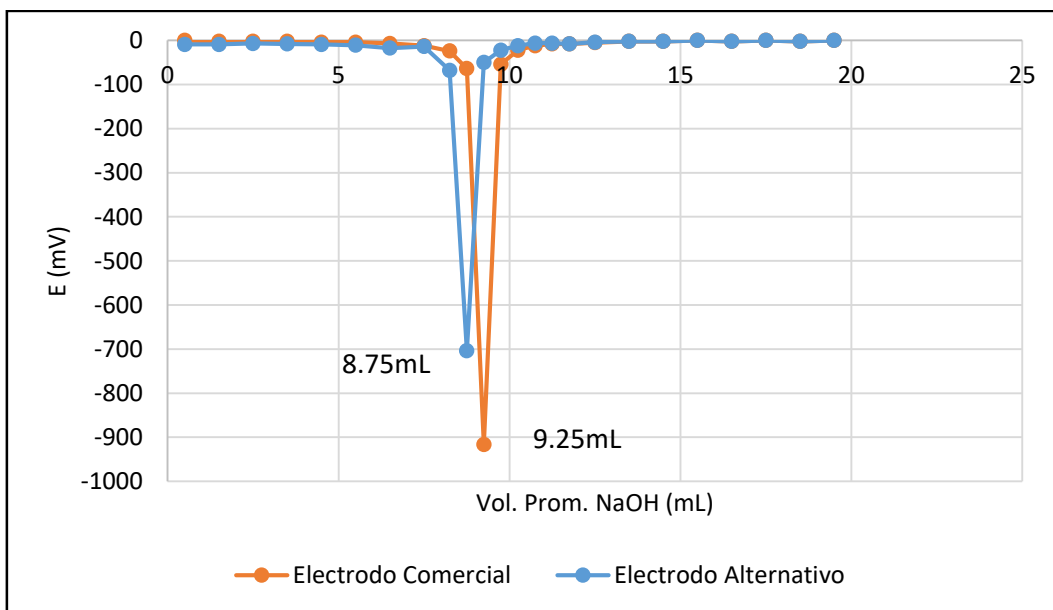


Gráfico 26. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO₃ 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

5.1.1.2 Concentración 0.00862 M

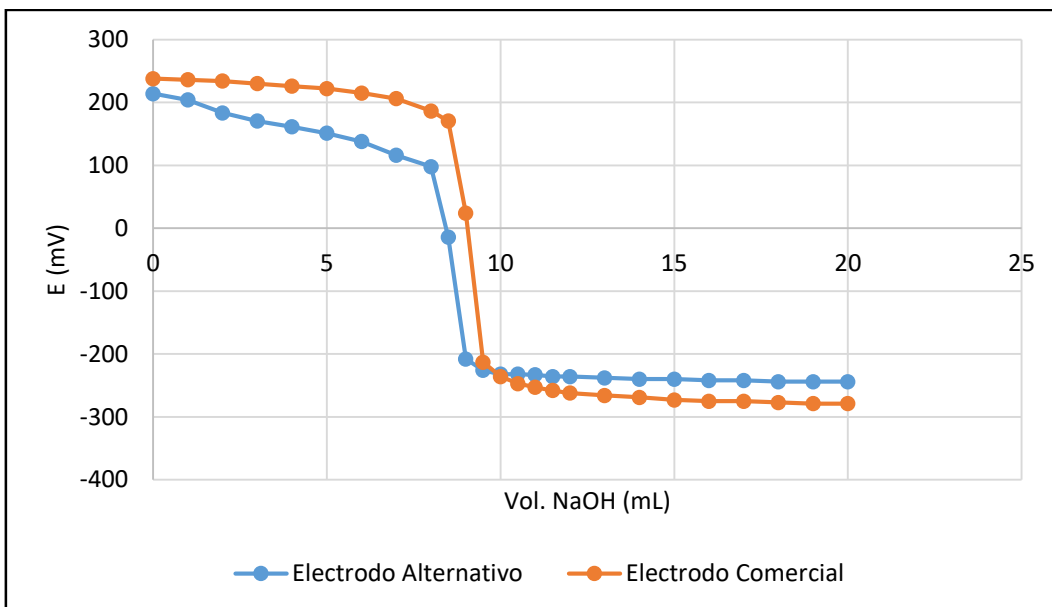


Gráfico 31. Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO_3 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

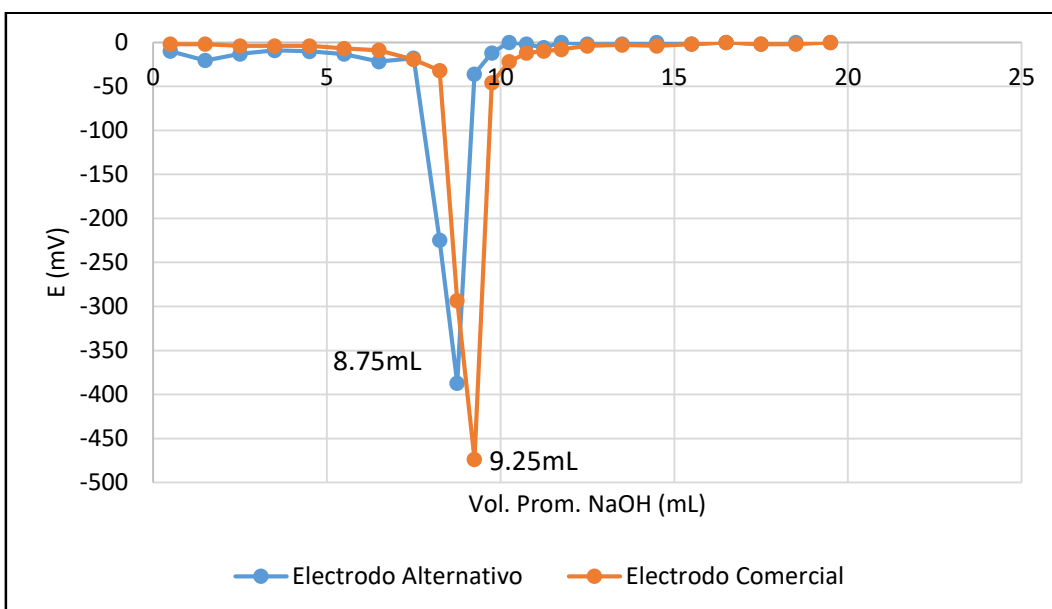


Gráfico 32. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO_3 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

5.1.1.3 Concentración 0.0053 M

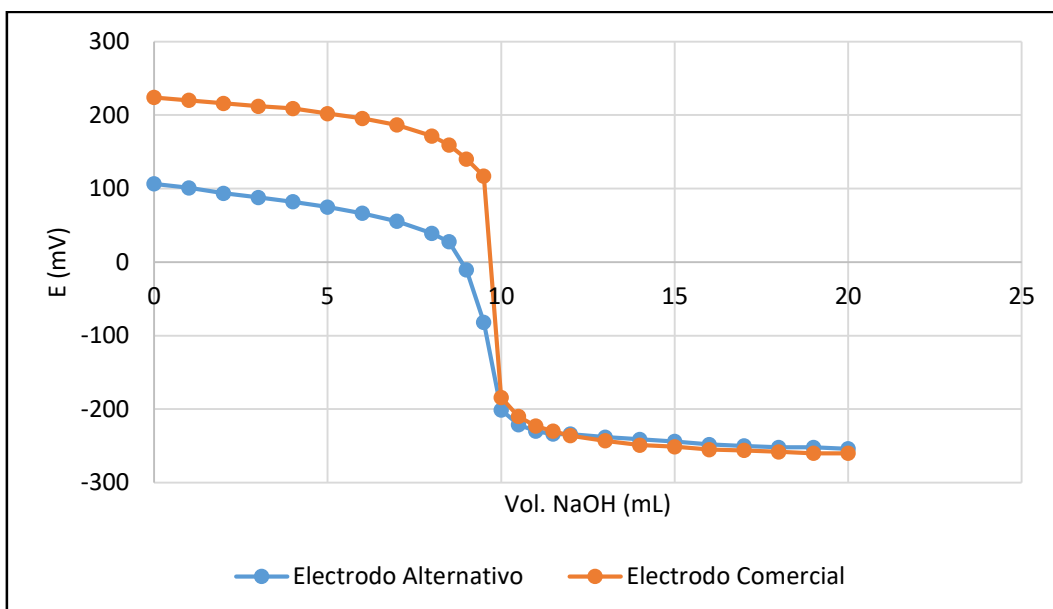


Gráfico 37. Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO₃ 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

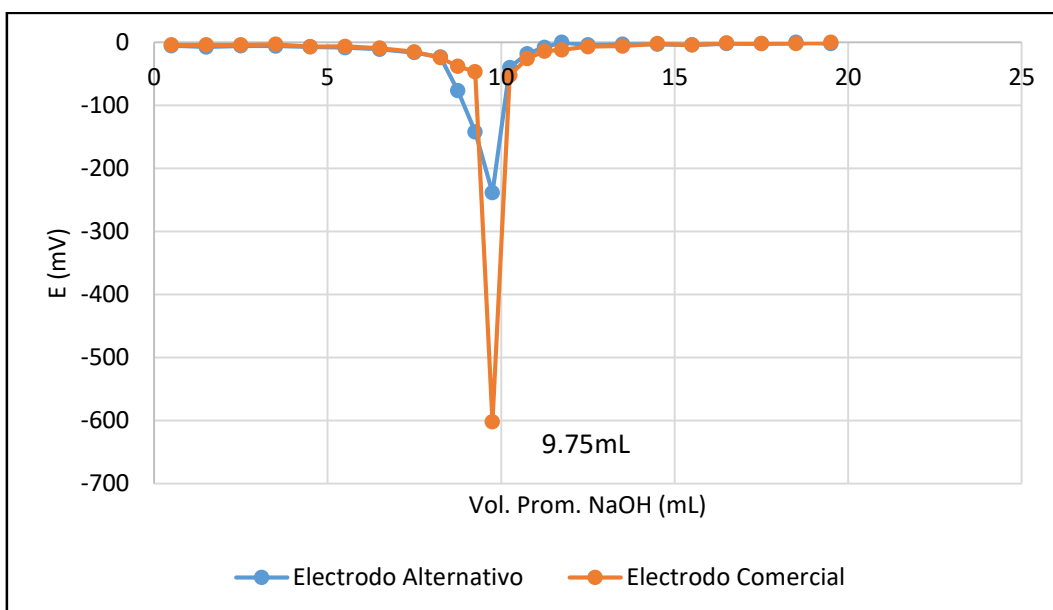


Gráfico 38. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO₃ 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

5.1.2 Valoraciones de NaOH

5.1.2.1 Concentración 0.095 M

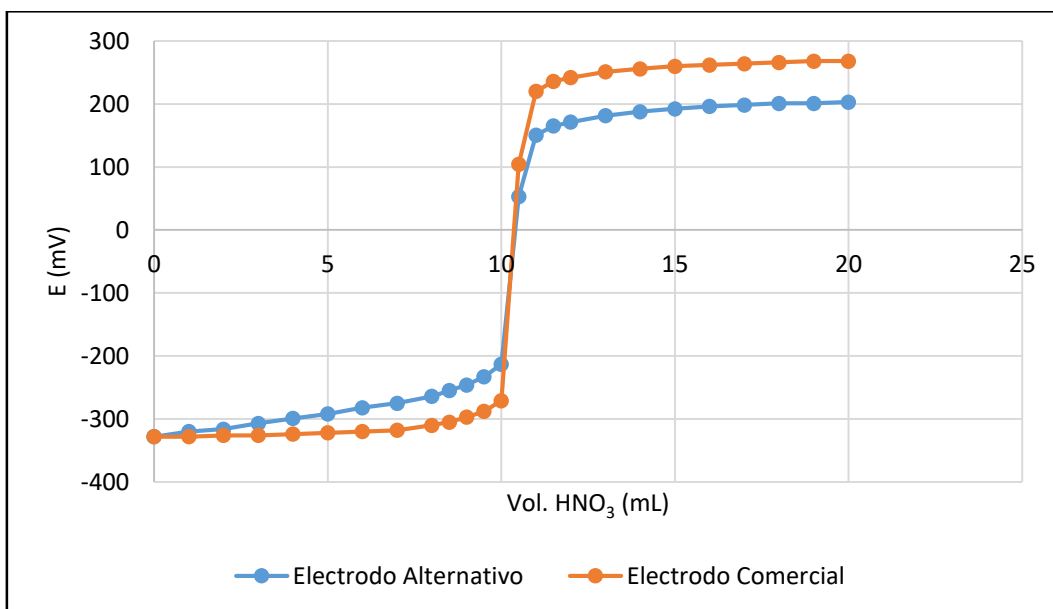


Gráfico 43. Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO_3 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

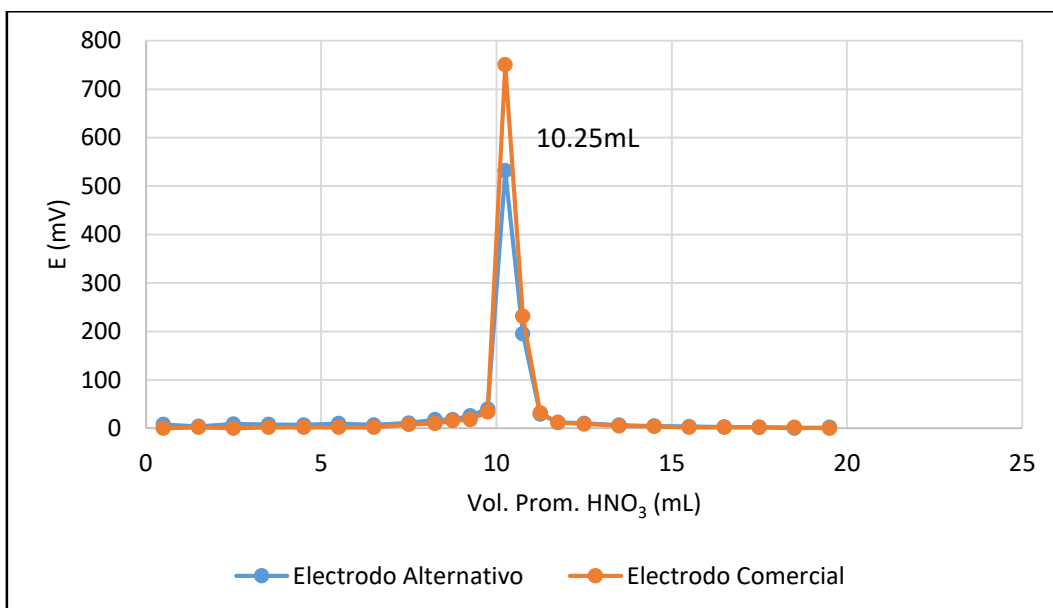


Gráfico 44. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO_3 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

5.1.2.2 Concentración 0.0095 M

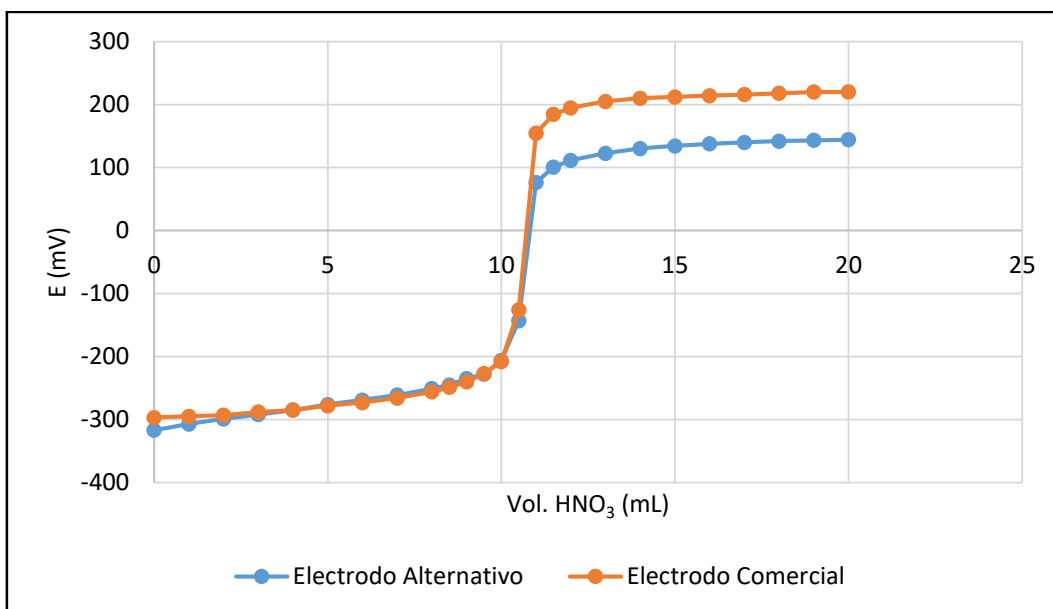


Gráfico 49. Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

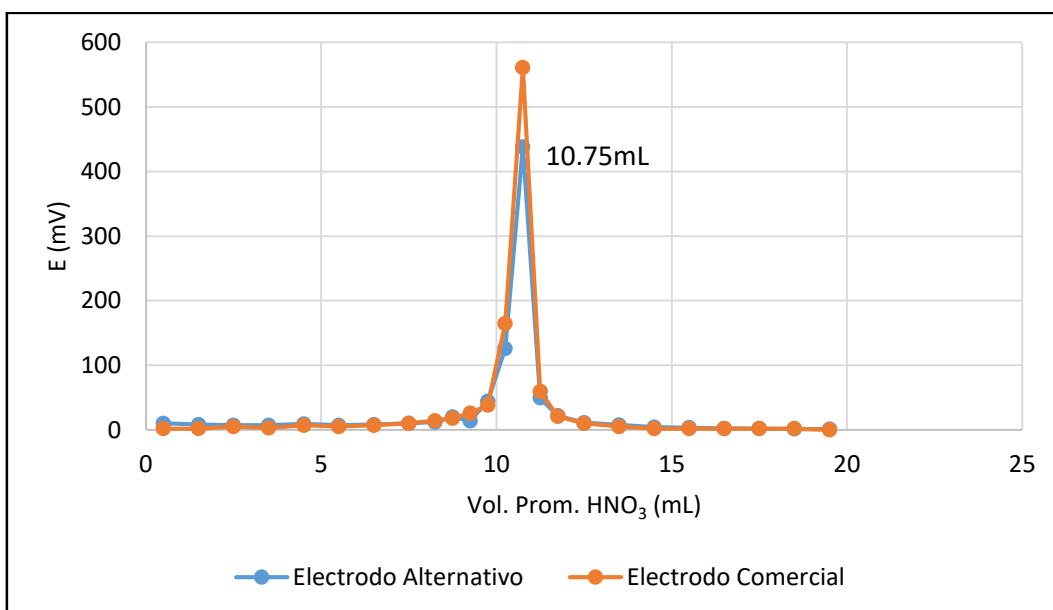


Gráfico 50. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

5.1.2.3 Concentración 0.0055M

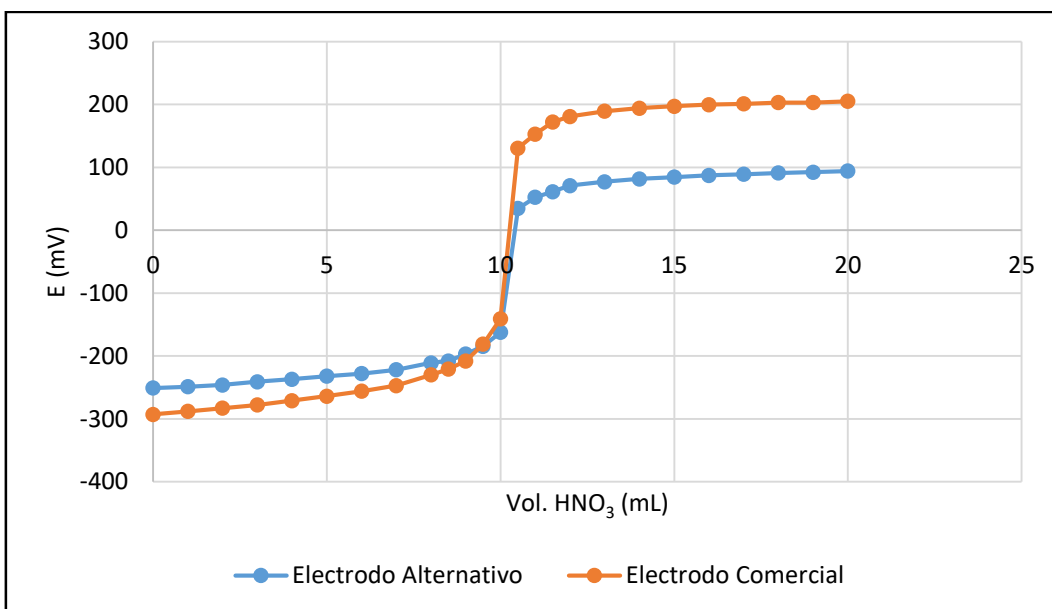


Gráfico 55. Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

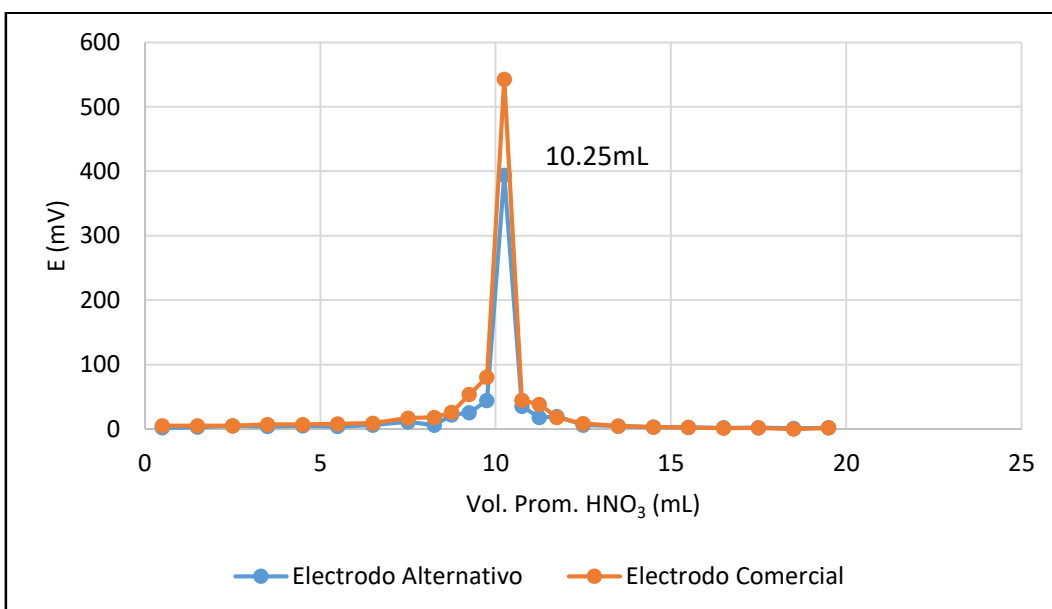


Gráfico 56. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

Los gráficos correspondientes a las valoraciones 2 y 3 se encuentran en el ANEXO V, mientras los correspondientes al electrodo 2 Encapsulado se hallan en el Anexo VI.

5.2 Valores de “t de Student” y Desviación Estándar Combinada

Estas tablas son la forma resumida de los resultados del ANEXO VII, donde se muestra el cálculo de “t de Student” y Desviación Estándar Combinada, dado que es un procedimiento repetitivo, solo se realizará el seguimiento de uno en el análisis de resultados.

Electrodo 1				
Analito	Concentración	S	t _{calculada}	t _{teórica}
HNO ₃	0.0862	0.2041	-1	2.776
	0.00862	0.2041	-1	2.776
	0.0053	0.2041	-1	2.776
NaOH	0.095	0.2041	1	2.776
	0.0095	0.2041	1	2.776
	0.0055	0.2041	1	2.776

Tabla 29. Resultados de la Desviación Estándar Combinada y los valores de “t” calculada y teórica para el electrodo Alternativo 1 y el electrodo comercial.

Electrodo 2				
Analito	Concentración	S	t _{calculada}	t _{teórica}
HNO ₃	0.0862	0.2041	-1	2.776
	0.00862	0.2041	-1	2.776
	0.0053	0.2041	-1	2.776
NaOH	0.095	0.2041	1	2.776
	0.0095	0.2041	1	2.776
	0.0055	0.2041	1	2.776

Tabla 30. Resultados de la Desviación Estándar Combinada y los valores de “t” calculada y teórica para el electrodo Alternativo 2 y el electrodo comercial.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las valoraciones realizadas con los electrodos POSAI-POSAI de manera semi-encapsulados fueron realizadas con el propósito de comprobar si los electrodos mostraban un comportamiento positivo antes de llegar a la etapa final, por tanto, sus graficas únicamente serán mostradas en el ANEXO III y IV, donde se hallan el electrodo alternativo 1 y 2 respectivamente.

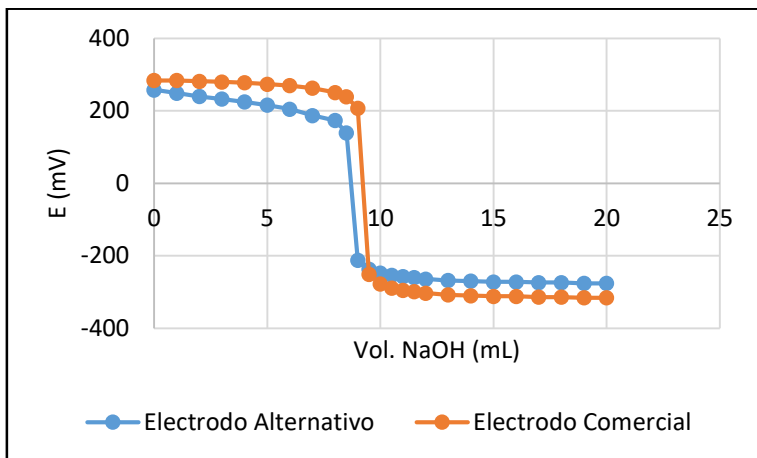


Gráfico 25. Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO_3 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

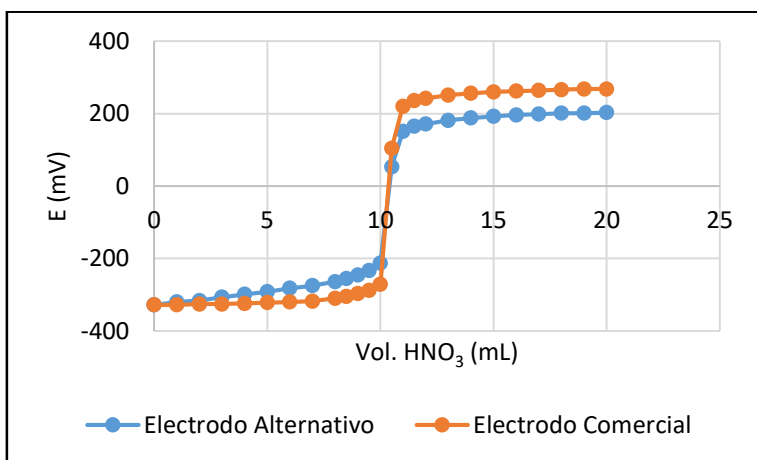


Gráfico 43. Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO_3 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

Como se puede observar en las gráficas 25 y 43, las cuales cumplen con la función de mostrar de manera simultánea la respuesta obtenida del electrodo alternativo POSAI-POSAI con el electrodo comercial, es posible apreciar que presentan un comportamiento visual idéntico, puesto que exponen la forma esperada a lo presentado en el capítulo 2.1.2, denotando un punto de equivalencia marcado.

De manera analítica se puede observar que los electrodos POSAI-POSAI ofrecen una respuesta positiva durante las valoraciones ácido-base pues, aunque presentan una desviación numérica, esta no es impedimento para llevar a cabo la cuantificación, si se deseara llevar por el método de las tangentes.

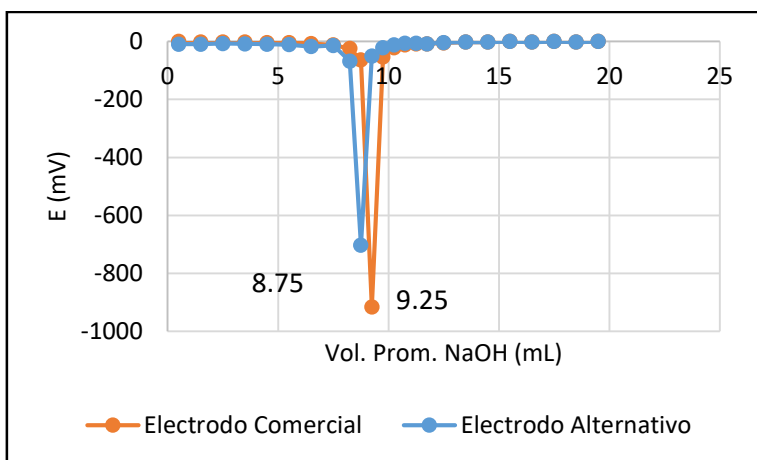


Gráfico 26. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO_3 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

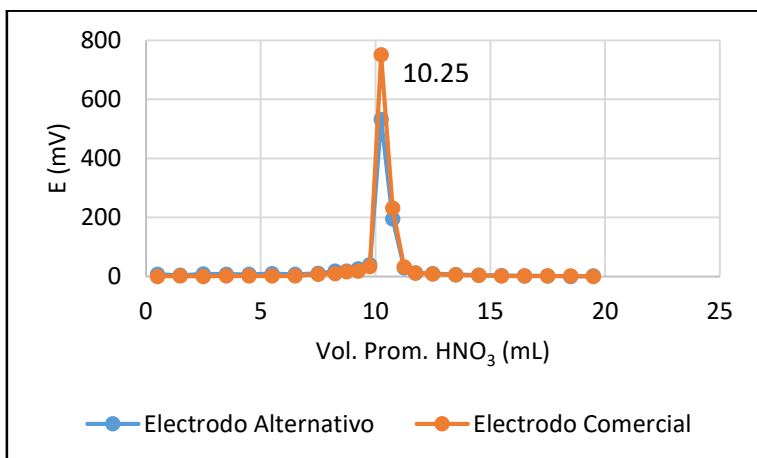


Gráfico 44. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO_3 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

Como es mostrado en las gráficas 26 y 44, serán aptas para ser empleadas en el método de la primera derivada, pues al provenir de las gráficas 25 y 43 permiten la apreciación de una Δ significativa de potencial, de manera que es posible una cuantificación más acertada. De igual manera ocurriría si se aplicara el método de la segunda derivada.

Con el apoyo de estas 4 gráficas, es posible observar un caso donde es obtenido un mismo punto de equivalencia en ambos electrodos y otro donde difiere por ± 0.5 mL, donde dicha variación pueden ser ocasionada por factores en la

instrumentación, como puede ser el grosor de película generada, la hidratación preliminar, entre otros.

Adicionalmente se puede apreciar que el comportamiento de los electrodos alternativos POSAI-POSAI presenta una mayor desviación numérica respecto al comercial, en medida de concentraciones más pequeñas, sin embargo, este factor no es un impedimento para realizar una cuantificación adecuada.

Una forma muy útil de comprobar si existe un error significativo en los datos obtenidos de los electrodos alternativos en comparación con el electrodo comercial fue realizar la prueba “t de Student”. La cual se usa frecuentemente para comparar los resultados de dos muestras independientes.

De esta manera en las tablas 29 y 30, las cuales exponen los resultados obtenidos de las pruebas de t de Student de cada una de las valoraciones realizadas con los electrodos alternativos POSAI-POSAI 1 y 2 respectivamente, obteniendo un valor de $t_{calculada}$ y la cual es comparada a una $t_{teórica}$ reportada en literatura, tomando los parámetros de los grados de libertad y el porcentaje de confianza seleccionado.

Con esto se puede corroborar que no hay diferencia significativa entre el electrodo comercial y los electrodos alternativos, debido a que la t de Student calculada es menor a la t de Student teórica, puesto que la t de Student reportada es de 2.776 (eligiendo como nivel de confianza el 95%), y la t de Student calculada en las distintas valoraciones varía entre 1 y -1.

7. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos podemos concluir que:

- Se tuvo éxito en la construcción y aplicación de un electrodo POSAI-POSAI en valoraciones ácido-base.
- La velocidad de respuesta del electrodo POSAI-POSAI es equiparable con la de un electrodo comercial.
- Los electrodos elaborados permiten realizar valoraciones con alícuotas de 3mL en adelante.

Con base en los datos correspondientes a la prueba “t de Student”, podemos afirmar que los electrodos alternativos no presentan diferencia significativa en comparación al electrodo comercial, debido a que la $t_{calculada}$ es menor a la $t_{teórica}$ ($\pm 1 < 2.776$), elegida a partir de un nivel de confianza del 95%.

Otro punto, es el costo de elaboración de electrodo POSAI-POSAI, el cual es alrededor de \$200 MXN comparativo a la compra de un electrodo comercial que va \$5,000 a \$7,000 MXN. Considerando esto podemos afirmar que es una buena alternativa como sustitución de un electrodo comercial puesto que ofrece resultados similares.

Un punto importante por considerar es el impedimento de usar el electrodo POSAI-POSAI en sistemas que contengan cloruros (Cl^-), debido a que estos propician el desgaste de la película de óxidos, lo que conlleva a un mal funcionamiento.

Con todo lo antes mencionado podemos dar por sentado que el electrodo POSAI-POSAI es una alternativa de uso en las valoraciones ácido-base en cualquier laboratorio de Química Analítica.

8. BIBLIOGRAFIA

- i. Hernandez, L. & González, C. (2002). *Introducción al Análisis Instrumental*. España: Ariel.
- ii. Skoog, D., West, D., & Holler, F. (1997). *Fundamentos de Química Analítica*. Barcelona, España: Reverte.
- iii. Guiteras, J., Rubio, R. & Fonrodona, G. *Curso Experimental en Química Analítica*, España: Síntesis.
- iv. Orozco D. Fernando. *Análisis Químico Cuantitativo*. 20a Ed. Porrúa, México D.F. (1978).
- v. Harris D. (2007). *Análisis Químico Cuantitativo*. Barcelona, España: Reverte.
- vi. Gary, D. (2009). *Química Analítica*. México: McGraw Hill.
- vii. Vogel I. Arthur. *Química Analítica Cuantitativa, Vol. II*. 2a Ed. Kapelusz, Buenos Aires, Argentina. (1969).
- viii. Graciela Romero, Álvaro López, Sonia Rincón, José J. Pérez, Juan C. Pescador y Adir J. Pérez, (2012). *Comparación entre electrodos POSAI y electrodos comerciales en la Titulación Potenciométrica de Sulfametoxazol y trimetoprima*. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(2), 107-114.
- ix. Orozco Maldonado Jennifer, *Microvaloraciones*, (2014). *Potenciométricas ácido-base, Redox y Complejométricas utilizando como sistema indicador de fin de valoración: un potenciómetro y un multímetro* (Tesis de pregrado), Universidad Nacional Autónoma de México, Cuautitlán Izcalli, México.
- x. Jorge Joaquín Pérez Cordero, (2013). *Elaboración y Prueba de un Electrodo Combinado de Acero Inoxidable 316 Electropulido, para Valoraciones Complejométricas* (Tesis de pregrado), Universidad Nacional Autónoma de México, Cuautitlán Izcalli, México.

ANEXO I

Cálculos de la preparación de soluciones

❖ Preparación de NaOH

a) NaOH 0.095 M

Se pretendía la preparación de 500mL de NaOH 0.1 M, para lo cual se realizó el cálculo siguiente tomando como base una solución de NaOH 5M grado analítico, para su posterior estandarización con HCl 0.1 M estándar primario.

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{(0.1M)(500mL)}{5M} = 10mL NaOH$$

Con base a la estandarización se obtuvo un punto de vire de 2.85mL con el cual se obtuvo la concentración real de nuestra solución:

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2} = \frac{(0.1M)(2.85mL)}{3mL} = 0.095M NaOH$$

b) NaOH 0.0095 M

Se realizó una dilución 1:10 de la solución de NaOH 0.095M para la preparación de 500mL de NaOH 0.0095 M para lo cual se realizó el siguiente cálculo:

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{(0.0095M)(500mL)}{0.095M} = 50mL NaOH$$

Con base a la estandarización se obtuvo un punto de vire de 2.85mL con el cual se obtuvo la concentración real de nuestra solución:

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2} = \frac{(0.01M)(2.85mL)}{3mL} = 0.0095M NaOH$$

c) NaOH 0.0055 M

Se pretendía la preparación de 500mL de NaOH 0.005 M para lo cual se tomaron 25mL de la solución de NaOH 0.095M, posteriormente se estandarizó con una solución de HCl 0.005 M.

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{(0.005M)(500mL)}{0.095M} = 26.31mL \approx 25mL NaOH$$

Con base a la estandarización se obtuvo un punto de vire de 3.3mL con el cual se obtuvo la concentración real de nuestra solución:

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2} = \frac{(0.005M)(3.3mL)}{3mL} = 0.0055M NaOH$$

❖ Preparación de HNO₃

a) HNO₃ 0.0862 M

Se pretendía la preparación de 500mL de HNO₃ 0.1M a partir de una solución de HNO₃ grado analítico para lo cual se realizó el siguiente cálculo:

$$V_{HNO_3} = 500mL \left(\frac{0.1mol}{1000mL} \right) \left(\frac{63.01g}{1mol} \right) \left(\frac{1mL}{1.41g} \right) \left(\frac{100RA}{69RA} \right) = 3.2382mL \approx 3.2mL HNO_3$$

Con base a la valoración se obtuvo un punto de equivalencia de 9.083mL con el cual se obtuvo la concentración real de nuestra solución:

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2} = \frac{(0.095M)(9.083mL)}{10mL} = 0.0862M HNO_3$$

b) HNO₃ 0.00862M

Se realizó una dilución 1:10 de la solución de HNO₃ 0.0862 M para la preparación de 500mL de HNO₃ 0.00862 M para lo cual se realizó el siguiente cálculo:

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{(0.00862M)(500mL)}{0.0862M} = 50mL HNO_3$$

Con base a la valoración se obtuvo un punto de equivalencia de 9.083mL con el cual se obtuvo la concentración real de nuestra solución:

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2} = \frac{(0.0095M)(9.083mL)}{10mL} = 0.00862M HNO_3$$

c) HNO_3 0.0053 M

Se pretendía la preparación de 500mL de HNO_3 0.005 M para lo cual se tomaron 30mL de la solución de HNO_3 0.0862M, posteriormente se valoró con una solución de NaOH 0.0055 M.

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{(0.005M)(500mL)}{0.0862M} = 29mL \approx 30mL \text{ HNO}_3$$

Con base a la valoración se obtuvo un punto de equivalencia de 9.583mL con el cual se obtuvo la concentración real de nuestra solución:

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2} = \frac{(0.0055M)(9.583mL)}{10mL} = 0.0053M \text{ HNO}_3$$

ANEXO II

Tablas de los resultados de las valoraciones

Electrodo 1 Semi-encapsulado

- Valoraciones de HNO₃

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Concentración					
		0.0862 M		0.00862 M		0.0053 M	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		389		384		402	
1	0.5	385	-4	379	-5	396	-6
2	1.5	380	-5	375	-4	392	-4
3	2.5	378	-2	373	-2	386	-6
4	3.5	374	-4	370	-3	382	-4
5	4.5	371	-3	367	-3	379	-3
6	5.5	366	-5	365	-2	376	-3
7	6.5	360	-6	364	-1	366	-10
8	7.5	348	-12	356	-8	358	-8
8.5	8.25	319	-58	323	-66	329	-58
9	8.75	143.9	-350.2	171.4	-303.2	298	-62
9.5	9.25	-184.7	-657.2	-53.6	-450	156.1	-283.8
10	9.75	-213	-56.6	-79.3	-51.4	-21.2	-354.6
10.5	10.25	-217	-8	-93.1	-27.6	-52.2	-62
11	10.75	-219	-4	-101.8	-17.4	-71.6	-38.8
11.5	11.25	-228	-18	-107.1	-10.6	-79.6	-16
12	11.75	-233	-10	-113	-11.8	-86.6	-14
13	12.5	-238	-5	-117.5	-4.5	-92.6	-6
14	13.5	-245	-7	-123.4	-5.9	-100.4	-7.8
15	14.5	-249	-4	-128.6	-5.2	-105.5	-5.1
16	15.5	-251	-2	-132.5	-3.9	-108	-2.5
17	16.5	-253	-2	-137.5	-5	-111.5	-3.5
18	17.5	-255	-2	-138.7	-1.2	-114.7	-3.2
19	18.5	-257	-2	-141.2	-2.5	-117.3	-2.6
20	19.5	-257	0	-142.6	-1.4	-119.4	-2.1

Tabla 1. Resultados de las valoraciones de HNO₃ con el electrodo 1 Semi-encapsulado.

- Valoraciones de NaOH

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Concentración					
		0.095 M		0.0095 M		0.0055 M	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		-417		-208		-223	
1	0.5	-415	2	-205	3	-220	3
2	1.5	-413	2	-203	2	-215	5
3	2.5	-411	2	-198	5	-210	5
4	3.5	-407	4	-193.9	4.1	-204	6
5	4.5	-404	3	-188.3	5.6	-195.6	8.4
6	5.5	-401	3	-182.3	6	-183.8	11.8
7	6.5	-399	2	-175.5	6.8	-176.4	7.4
8	7.5	-395	4	-166.9	8.6	-166.7	9.7
8.5	8.25	-387	16	-161.2	11.4	-150.8	31.8
9	8.75	-376	22	-155	12.4	-137.5	26.6
9.5	9.25	-365	22	-146.6	16.8	-110.4	54.2
10	9.75	-339	52	-134.1	25	-94.1	32.6
10.5	10.25	127.5	933	-105.5	57.2	113.4	415
11	10.75	139.4	23.8	55.5	322	175.1	123.4
11.5	11.25	161.2	43.6	153.8	196.6	206	61.8
12	11.75	168.9	15.4	203	98.4	216	20
13	12.5	172	3.1	223	20	226	10
14	13.5	174.3	2.3	236	13	230	4
15	14.5	177.5	3.2	246	10	235	5
16	15.5	182.2	4.7	252	6	238	3
17	16.5	186.4	4.2	254	2	240	2
18	17.5	190.1	3.7	256	2	242	2
19	18.5	192.5	2.4	258	2	244	2
20	19.5	194.2	1.7	258	0	244	0

Tabla 2. Resultados de las valoraciones de NaOH con el electrodo 1 Semi-encapsulado.

Electrodo 2 Semi-encapsulado

- Valoraciones de HNO₃

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Concentración					
		0.0862 M		0.00862 M		0.0053 M	
		Potencia I (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		340		368		420	
1	0.5	337	-3	363	-5	411	-9
2	1.5	334	-3	360	-3	398	-13
3	2.5	328	-6	356	-4	386	-12
4	3.5	316	-12	353	-3	376	-10
5	4.5	295	-21	349	-4	368	-8
6	5.5	282	-13	341	-8	358	-10
7	6.5	271	-11	339	-2	348	-10
8	7.5	255	-16	326	-13	341	-7
8.5	8.25	247	-16	293	-66	330	-22
9	8.75	194.7	-104.6	162.2	-261.6	305	-50
9.5	9.25	-212	-813.4	-77.8	-480	242	-126
10	9.75	-226	-28	-106.2	-56.8	-9.9	-503.8
10.5	10.25	-230	-8	-120.1	-27.8	-84.7	-149.6
11	10.75	-235	-10	-125.8	-11.4	-105.9	-42.4
11.5	11.25	-239	-8	-133.8	-16	-120.6	-29.4
12	11.75	-242	-6	-134.6	-1.6	-129	-16.8
13	12.5	-244	-2	-136.8	-2.2	-134.3	-5.3
14	13.5	-248	-4	-142.8	-6	-137.3	-3
15	14.5	-252	-4	-145.9	-3.1	-143.6	-6.3
16	15.5	-255	-3	-150.7	-4.8	-148.5	-4.9
17	16.5	-257	-2	-155.7	-5	-152.6	-4.1
18	17.5	-260	-3	-162.6	-6.9	-155.5	-2.9
19	18.5	-264	-4	-165.6	-3	-157.6	-2.1
20	19.5	-266	-2	-166.9	-1.3	-160.6	-3

Tabla 3. Resultados de las valoraciones de HNO₃ con el electrodo 2 Semi-encapsulado.

- Valoraciones de NaOH

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Concentración					
		0.095 M		0.0095 M		0.0055 M	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		-414		-227		-206	
1	0.5	-411	3	-221	6	-202	4
2	1.5	-409	2	-219	2	-197.5	4.5
3	2.5	-407	2	-219	0	-194.1	3.4
4	3.5	-404	3	-216	3	-190.2	3.9
5	4.5	-401	3	-212	4	-185.3	4.9
6	5.5	-399	2	-205	7	-180.9	4.4
7	6.5	-394	5	-195.8	9.2	-172.9	8
8	7.5	-391	3	-185.7	10.1	-166.3	6.6
8.5	8.25	-382	18	-180.3	10.8	-157.3	18
9	8.75	-374	16	-173.7	13.2	-144.6	25.4
9.5	9.25	-363	22	-161.3	24.8	-128.1	33
10	9.75	-341	44	-146.7	29.2	-86.4	83.4
10.5	10.25	122.8	927.6	-123.2	47	133.2	439.2
11	10.75	135.3	25	55.8	358	161.8	57.2
11.5	11.25	151	31.4	181.4	251.2	178.3	33
12	11.75	158.9	15.8	246	129.2	209	61.4
13	12.5	161.2	2.3	260	14	222	13
14	13.5	176	14.8	266	6	228	6
15	14.5	179.3	3.3	269	3	230	2
16	15.5	182.2	2.9	273	4	232	2
17	16.5	186.4	4.2	277	4	232	0
18	17.5	189.3	2.9	279	2	235	3
19	18.5	191.9	2.6	281	2	235	0
20	19.5	193.4	1.5	285	4	235	0

Tabla 4. Resultados de las valoraciones de NaOH con el electrodo 2 Semi-encapsulado.

Electrodo 1 Encapsulado

- Valoraciones de HNO₃

- Concentración 0.0862 M

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		258		257		268	
1	0.5	249	-9	249	-8	260	-8
2	1.5	240	-9	240	-9	252	-8
3	2.5	233	-7	231	-9	244	-8
4	3.5	225	-8	225	-6	236	-8
5	4.5	216	-9	217	-8	227	-9
6	5.5	205	-11	205	-12	217	-10
7	6.5	187.5	-17.5	194.7	-10.3	207	-10
8	7.5	173.7	-13.8	179.2	-15.5	192.2	-14.8
8.5	8.25	139.7	-68	165.1	-28.2	179.8	-24.8
9	8.75	-212	-703.4	133.6	-63	140	-79.6
9.5	9.25	-237	-50	-218	-703.2	-218	-716
10	9.75	-248	-22	-241	-46	-240	-44
10.5	10.25	-254	-12	-253	-24	-248	-16
11	10.75	-257	-6	-260	-14	-253	-10
11.5	11.25	-260	-6	-263	-6	-256	-6
12	11.75	-264	-8	-267	-8	-262	-12
13	12.5	-268	-4	-270	-3	-266	-4
14	13.5	-270	-2	-272	-2	-270	-4
15	14.5	-272	-2	-272	0	-272	-2
16	15.5	-272	0	-274	-2	-272	0
17	16.5	-274	-2	-274	0	-274	-2
18	17.5	-274	0	-276	-2	-274	0
19	18.5	-276	-2	-276	0	-276	-2
20	19.5	-276	0	-278	-2	-276	0

Tabla 5. Resultados de las valoraciones de HNO₃ 0.0862 M con el electrodo 1 Encapsulado.

Vol. (mL)	Vol.	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
	Promedio (mL)	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		284		282		284	
1	0.5	284	0	282	0	284	0
2	1.5	282	-2	280	-2	282	-2
3	2.5	280	-2	278	-2	280	-2
4	3.5	278	-2	276	-2	278	-2
5	4.5	274	-4	272	-4	274	-4
6	5.5	270	-4	268	-4	270	-4
7	6.5	263	-7	260	-8	263	-7
8	7.5	251	-12	249	-11	251	-12
8.5	8.25	239	-24	236	-26	239	-24
9	8.75	207	-64	201	-70	207	-64
9.5	9.25	-251	-916	-248	-898	-251	-916
10	9.75	-278	-54	-263	-30	-278	-54
10.5	10.25	-289	-22	-276	-26	-289	-22
11	10.75	-295	-12	-288	-24	-295	-12
11.5	11.25	-299	-8	-295	-14	-299	-8
12	11.75	-303	-8	-301	-12	-303	-8
13	12.5	-308	-5	-307	-6	-308	-5
14	13.5	-310	-2	-310	-3	-310	-2
15	14.5	-312	-2	-312	-2	-312	-2
16	15.5	-312	0	-312	0	-312	0
17	16.5	-314	-2	-314	-2	-314	-2
18	17.5	-314	0	-314	0	-314	0
19	18.5	-316	-2	-316	-2	-316	-2
20	19.5	-316	0	-316	0	-316	0

Tabla 6. Resultados de las valoraciones de HNO₃ 0.0862 M con el electrodo comercial.

○ **Concentración 0.00862 M**

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		214		235		230	
1	0.5	204	-10	223	-12	222.4	-7.6
2	1.5	183.5	-20.5	212	-11	206.8	-15.6
3	2.5	170.4	-13.1	202	-10	190.3	-16.5
4	3.5	161.3	-9.1	189.5	-12.5	179.2	-11.1
5	4.5	151.1	-10.2	180.8	-8.7	166.9	-12.3
6	5.5	137.8	-13.3	169.8	-11	154.5	-12.4
7	6.5	116	-21.8	156.2	-13.6	141.1	-13.4
8	7.5	98	-18	136.8	-19.4	123.7	-17.4
8.5	8.25	-14.4	-224.8	117.4	-38.8	110.4	-26.6
9	8.75	-208	-387.2	-14.1	-263	-2.4	-225.6
9.5	9.25	-226	-36	-208	-387.8	-206	-407.2
10	9.75	-232	-12	-219	-22	-222	-32
10.5	10.25	-232	0	-228	-18	-230	-16
11	10.75	-233	-2	-230	-4	-232	-4
11.5	11.25	-236	-6	-232	-4	-234	-4
12	11.75	-236	0	-234	-4	-236	-4
13	12.5	-238	-2	-236	-2	-238	-2
14	13.5	-240	-2	-238	-2	-240	-2
15	14.5	-240	0	-238	0	-240	0
16	15.5	-242	-2	-240	-2	-242	-2
17	16.5	-242	0	-240	0	-242	0
18	17.5	-244	-2	-242	-2	-244	-2
19	18.5	-244	0	-242	0	-244	0
20	19.5	-244	0	-244	-2	-246	-2

Tabla 7. Resultados de las valoraciones de HNO₃ 0.00862 M con el electrodo 1 Encapsulado.

Vol. (mL)	Vol.	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
	Promedio (mL)	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		238		240		238	
1	0.5	236	-2	238	-2	236	-2
2	1.5	234	-2	236	-2	234	-2
3	2.5	230	-4	232	-4	230	-4
4	3.5	226	-4	228	-4	226	-4
5	4.5	222	-4	224	-4	222	-4
6	5.5	215	-7	217	-7	215	-7
7	6.5	206	-9	205	-12	206	-9
8	7.5	186.5	-19.5	189.2	-15.8	186.5	-19.5
8.5	8.25	170.5	-32	162.8	-52.8	170.5	-32
9	8.75	23.8	-293.4	28.4	-268.8	23.8	-293.4
9.5	9.25	-213	-473.6	-211	-478.8	-213	-473.6
10	9.75	-236	-46	-234	-46	-236	-46
10.5	10.25	-247	-22	-244	-20	-247	-22
11	10.75	-253	-12	-250	-12	-253	-12
11.5	11.25	-258	-10	-256	-12	-258	-10
12	11.75	-262	-8	-260	-8	-262	-8
13	12.5	-266	-4	-262	-2	-266	-4
14	13.5	-269	-3	-266	-4	-269	-3
15	14.5	-273	-4	-270	-4	-273	-4
16	15.5	-275	-2	-272	-2	-275	-2
17	16.5	-275	0	-274	-2	-275	0
18	17.5	-277	-2	-276	-2	-277	-2
19	18.5	-279	-2	-276	0	-279	-2
20	19.5	-279	0	-278	-2	-279	0

Tabla 8. Resultados de las valoraciones de HNO_3 0.00862 M con el electrodo comercial.

○ **Concentración 0.0053 M**

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		106.5		110.4		115.2	
1	0.5	101.1	-5.4	101.9	-8.5	108.4	-6.8
2	1.5	93.6	-7.5	95.6	-6.3	102.3	-6.1
3	2.5	88	-5.6	89.2	-6.4	96.9	-5.4
4	3.5	82.1	-5.9	81.7	-7.5	90.1	-6.8
5	4.5	75	-7.1	73	-8.7	85.5	-4.6
6	5.5	66.5	-8.5	62.8	-10.2	78.3	-7.2
7	6.5	55.6	-10.9	45.8	-17	71.6	-6.7
8	7.5	39.3	-16.3	33.5	-12.3	63.8	-7.8
8.5	8.25	27.7	-23.2	-20.8	-108.6	45.2	-37.2
9	8.75	-10.7	-76.8	-99.4	-157.2	36.9	-16.6
9.5	9.25	-81.7	-142	-211	-223.2	22.4	-29
10	9.75	-201	-238.6	-223	-24	-114.6	-274
10.5	10.25	-221	-40	-232	-18	-224	-218.8
11	10.75	-230	-18	-236	-8	-232	-16
11.5	11.25	-234	-8	-240	-8	-234	-4
12	11.75	-234	0	-244	-8	-235	-2
13	12.5	-238	-4	-248	-4	-236	-1
14	13.5	-241	-3	-250	-2	-238	-2
15	14.5	-244	-3	-250	0	-240	-2
16	15.5	-248	-4	-252	-2	-242	-2
17	16.5	-250	-2	-252	0	-244	-2
18	17.5	-252	-2	-254	-2	-246	-2
19	18.5	-252	0	-254	0	-248	-2
20	19.5	-254	-2	-254	0	-248	0

Tabla 9. Resultados de las valoraciones de HNO₃ 0.0053 M con el electrodo 1 Encapsulado.

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		224		223		224	
1	0.5	220	-4	220	-3	220	-4
2	1.5	216	-4	217	-3	216	-4
3	2.5	212	-4	214	-3	212	-4
4	3.5	209	-3	210	-4	209	-3
5	4.5	202	-7	205	-5	202	-7
6	5.5	195.6	-6.4	200	-5	195.6	-6.4
7	6.5	186.5	-9.1	192.1	-7.9	186.5	-9.1
8	7.5	171.6	-14.9	179.5	-12.6	171.6	-14.9
8.5	8.25	159.4	-24.4	164.8	-29.4	159.4	-24.4
9	8.75	140.3	-38.2	146.7	-36.2	140.3	-38.2
9.5	9.25	117	-46.6	116.3	-60.8	117	-46.6
10	9.75	-184	-602	-191	-614.6	-184	-602
10.5	10.25	-210	-52	-214	-46	-210	-52
11	10.75	-223	-26	-225	-22	-223	-26
11.5	11.25	-230	-14	-233	-16	-230	-14
12	11.75	-236	-12	-238	-10	-236	-12
13	12.5	-243	-7	-244	-6	-243	-7
14	13.5	-249	-6	-250	-6	-249	-6
15	14.5	-251	-2	-253	-3	-251	-2
16	15.5	-255	-4	-256	-3	-255	-4
17	16.5	-256	-1	-259	-3	-256	-1
18	17.5	-258	-2	-259	0	-258	-2
19	18.5	-260	-2	-262	-3	-260	-2
20	19.5	-260	0	-262	0	-260	0

Tabla 10. Resultados de las valoraciones de HNO₃ 0.0053 M con el electrodo comercial.

- Valoraciones de NaOH
 - Concentración 0.095 M

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		-328		-320		-328	
1	0.5	-320	8	-313	7	-326	2
2	1.5	-316	4	-306	7	-322	4
3	2.5	-307	9	-298	8	-318	4
4	3.5	-299	8	-290	8	-308	10
5	4.5	-292	7	-283	7	-300	8
6	5.5	-282	10	-274	9	-296	4
7	6.5	-275	7	-265	9	-286	10
8	7.5	-264	11	-255	10	-280	6
8.5	8.25	-255	18	-246	18	-271	18
9	8.75	-246	18	-237	18	-264	14
9.5	9.25	-233	26	-225	24	-255	18
10	9.75	-213	40	-202	46	-247	16
10.5	10.25	53	532	78	560	-226	42
11	10.75	150.6	195.2	152.3	148.6	46	544
11.5	11.25	165.1	29	163.1	21.6	153.3	214.6
12	11.75	171.2	12.2	169.2	12.2	170.4	34.2
13	12.5	181.4	10.2	178.4	9.2	175.2	4.8
14	13.5	187.9	6.5	185.3	6.9	178.9	3.7
15	14.5	192.5	4.6	190.7	5.4	183.6	4.7
16	15.5	196.1	3.6	194.5	3.8	186.4	2.8
17	16.5	198.6	2.5	197.8	3.3	189.1	2.7
18	17.5	201	2.4	201	3.2	192.3	3.2
19	18.5	201	0	204	3	194.5	2.2
20	19.5	203	2	207	3	197.2	2.7

Tabla 11. Resultados de las valoraciones de NaOH 0.095 M con el electrodo 1 Encapsulado.

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		-328		-324		-328	
1	0.5	-328	0	-322	2	-328	0
2	1.5	-326	2	-320	2	-326	2
3	2.5	-326	0	-318	2	-326	0
4	3.5	-324	2	-316	2	-324	2
5	4.5	-322	2	-314	2	-322	2
6	5.5	-320	2	-312	2	-320	2
7	6.5	-318	2	-310	2	-318	2
8	7.5	-310	8	-304	6	-310	8
8.5	8.25	-305	10	-296	16	-305	10
9	8.75	-297	16	-288	16	-297	16
9.5	9.25	-288	18	-276	24	-288	18
10	9.75	-271	34	-258	36	-271	34
10.5	10.25	104.3	750.6	88.9	693.8	104.3	750.6
11	10.75	220	231.4	222	266.2	220	231.4
11.5	11.25	236	32	236	28	236	32
12	11.75	242	12	240	8	242	12
13	12.5	251	9	249	9	251	9
14	13.5	256	5	255	6	256	5
15	14.5	260	4	259	4	260	4
16	15.5	262	2	262	3	262	2
17	16.5	264	2	264	2	264	2
18	17.5	266	2	266	2	266	2
19	18.5	268	2	268	2	268	2
20	19.5	268	0	270	2	268	0

Tabla 12. Resultados de las valoraciones de NaOH 0.095 M con el electrodo comercial.

○ **Concentración 0.0095 M**

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		-317		-319		-320	
1	0.5	-307	10	-311	8	-312	8
2	1.5	-299	8	-300	11	-306	6
3	2.5	-292	7	-290	10	-298	8
4	3.5	-285	7	-283	7	-293	5
5	4.5	-276	9	-277	6	-285	8
6	5.5	-269	7	-269	8	-273	12
7	6.5	-261	8	-261	8	-265	8
8	7.5	-251	10	-253	8	-256	9
8.5	8.25	-245	12	-244	18	-248	16
9	8.75	-235	20	-238	12	-235	26
9.5	9.25	-228	14	-226	24	-224	22
10	9.75	-206	44	-220	12	-207	34
10.5	10.25	-143	126	-198.2	43.6	-125.8	162.4
11	10.75	76.1	438.2	-132.7	131	49.7	351
11.5	11.25	100.8	49.4	86.1	437.6	98.3	97.2
12	11.75	111.6	21.6	108.6	45	107.2	17.8
13	12.5	122.7	11.1	119.5	10.9	116.1	8.9
14	13.5	130.2	7.5	131.2	11.7	124.8	8.7
15	14.5	134.4	4.2	139.4	8.2	129.4	4.6
16	15.5	137.8	3.4	144.1	4.7	133.1	3.7
17	16.5	140	2.2	146.9	2.8	135.5	2.4
18	17.5	142	2	149.4	2.5	138.4	2.9
19	18.5	143.3	1.3	151.7	2.3	141.6	3.2
20	19.5	144.4	1.1	153.8	2.1	142.9	1.3

Tabla 13. Resultados de las valoraciones de NaOH 0.0095 M con el electrodo 1 Encapsulado.

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		-297		-295		-297	
1	0.5	-295	2	-293	2	-295	2
2	1.5	-293	2	-291	2	-293	2
3	2.5	-288	5	-288	3	-288	5
4	3.5	-285	3	-284	4	-285	3
5	4.5	-278	7	-280	4	-278	7
6	5.5	-273	5	-276	4	-273	5
7	6.5	-266	7	-270	6	-266	7
8	7.5	-256	10	-261	9	-256	10
8.5	8.25	-249	14	-254	14	-249	14
9	8.75	-240	18	-246	16	-240	18
9.5	9.25	-227	26	-232	28	-227	26
10	9.75	-208	38	-204	56	-208	38
10.5	10.25	-125.7	164.6	-119.8	168.4	-125.7	164.6
11	10.75	154.7	560.8	160.8	561.2	154.7	560.8
11.5	11.25	184.5	59.6	189.2	56.8	184.5	59.6
12	11.75	194.9	20.8	198.4	18.4	194.9	20.8
13	12.5	205	10.1	207	8.6	205	10.1
14	13.5	210	5	213	6	210	5
15	14.5	212	2	215	2	212	2
16	15.5	214	2	217	2	214	2
17	16.5	216	2	219	2	216	2
18	17.5	218	2	221	2	218	2
19	18.5	220	2	221	0	220	2
20	19.5	220	0	223	2	220	0

Tabla 14. Resultados de las valoraciones de NaOH 0.0095 M con el electrodo comercial.

○ **Concentración 0.0055 M**

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		-251		-263		-265	
1	0.5	-249	2	-261	2	-260	5
2	1.5	-246	3	-259	2	-250	10
3	2.5	-241	5	-255	4	-246	4
4	3.5	-237	4	-251	4	-241	5
5	4.5	-232	5	-246	5	-238	3
6	5.5	-228	4	-240	6	-232	6
7	6.5	-222	6	-234	6	-230	2
8	7.5	-211	11	-224	10	-225	5
8.5	8.25	-208	6	-217	14	-215	20
9	8.75	-197.1	21.8	-205	24	-209	12
9.5	9.25	-184.4	25.4	-193.4	23.2	-200	18
10	9.75	-162.4	44	-171.3	44.2	-187.4	25.2
10.5	10.25	34.6	394	28.9	400.4	-170.7	33.4
11	10.75	52.3	35.4	45.2	32.6	43.3	428
11.5	11.25	61.2	17.8	57.8	25.2	57.7	28.8
12	11.75	71	19.6	63.8	12	63.1	10.8
13	12.5	77	6	67.9	4.1	70.9	7.8
14	13.5	81.6	4.6	71.5	3.6	78.5	7.6
15	14.5	84.5	2.9	74.8	3.3	82.7	4.2
16	15.5	87.2	2.7	78.3	3.5	85	2.3
17	16.5	89	1.8	81	2.7	88.3	3.3
18	17.5	91.1	2.1	83.2	2.2	90.2	1.9
19	18.5	92.3	1.2	85.4	2.2	92.9	2.7
20	19.5	94.2	1.9	87.2	1.8	94.1	1.2

Tabla 15. Resultados de las valoraciones de NaOH 0.0055M con el electrodo 1 Encapsulado.

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		-293		-290		-293	
1	0.5	-288	5	-286	4	-288	5
2	1.5	-283	5	-282	4	-283	5
3	2.5	-278	5	-277	5	-278	5
4	3.5	-271	7	-272	5	-271	7
5	4.5	-264	7	-266	6	-264	7
6	5.5	-256	8	-259	7	-256	8
7	6.5	-247	9	-250	9	-247	9
8	7.5	-230	17	-235	15	-230	17
8.5	8.25	-221	18	-225	20	-221	18
9	8.75	-208	26	-211	28	-208	26
9.5	9.25	-181.2	53.6	-193.2	35.6	-181.2	53.6
10	9.75	-140.9	80.6	-152.1	82.2	-140.9	80.6
10.5	10.25	130.5	542.8	143.9	592	130.5	542.8
11	10.75	152.8	44.6	165.2	42.6	152.8	44.6
11.5	11.25	172	38.4	179.1	27.8	172	38.4
12	11.75	180.9	17.8	190.2	22.2	180.9	17.8
13	12.5	189.4	8.5	196.4	6.2	189.4	8.5
14	13.5	194	4.6	201	4.6	194	4.6
15	14.5	197.1	3.1	204	3	197.1	3.1
16	15.5	199.6	2.5	207	3	199.6	2.5
17	16.5	201	1.4	209	2	201	1.4
18	17.5	203	2	211	2	203	2
19	18.5	203	0	213	2	203	0
20	19.5	205	2	213	0	205	2

Tabla 16. Resultados de las valoraciones de NaOH 0.0055 M con el electrodo comercial.

Electrodo 2 Encapsulado

- Valoraciones de HNO₃

- Concentración 0.0862 M

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		192.3		182.8		202.8	
1	0.5	185	-7.3	175.7	-7.1	193.4	-9.4
2	1.5	177.7	-7.3	168.2	-7.5	188.8	-4.6
3	2.5	170.4	-7.3	161	-7.2	176.9	-11.9
4	3.5	163.5	-6.9	153.9	-7.1	169.2	-7.7
5	4.5	154.8	-8.7	145.7	-8.2	160.4	-8.8
6	5.5	146	-8.8	138.3	-7.4	152.5	-7.9
7	6.5	134	-12	127.5	-10.8	137.1	-15.4
8	7.5	116.2	-17.8	110.8	-16.7	120.5	-16.6
8.5	8.25	100.5	-31.4	95.1	-31.4	109.3	-22.4
9	8.75	68.5	-64	-312	-814.2	84.8	-49
9.5	9.25	-300	-737	-334	-44	-305	-779.6
10	9.75	-325	-50	-345	-22	-322	-34
10.5	10.25	-338	-26	-353	-16	-336	-28
11	10.75	-346	-16	-359	-12	-350	-28
11.5	11.25	-352	-12	-365	-12	-354	-8
12	11.75	-357	-10	-368	-6	-364	-20
13	12.5	-361	-4	-371	-3	-365	-1
14	13.5	-366	-5	-371	0	-368	-3
15	14.5	-368	-2	-372	-1	-370	-2
16	15.5	-370	-2	-372	0	-372	-2
17	16.5	-372	-2	-374	-2	-372	0
18	17.5	-374	-2	-374	0	-372	0
19	18.5	-374	0	-376	-2	-374	-2
20	19.5	-376	-2	-376	0	-374	0

Tabla 17. Resultados de las valoraciones de HNO₃ 0.0862 M con el electrodo 2 Encapsulado.

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		280		286		280	
1	0.5	280	0	286	0	280	0
2	1.5	280	0	284	-2	280	0
3	2.5	277	-3	282	-2	277	-3
4	3.5	274	-3	280	-2	274	-3
5	4.5	271	-3	277	-3	271	-3
6	5.5	265	-6	274	-3	265	-6
7	6.5	259	-6	268	-6	259	-6
8	7.5	245	-14	254	-14	245	-14
8.5	8.25	229	-32	238	-32	229	-32
9	8.75	196	-66	215	-46	196	-66
9.5	9.25	-260	-912	-252	-934	-260	-912
10	9.75	-283	-46	-276	-48	-283	-46
10.5	10.25	-293	-20	-287	-22	-293	-20
11	10.75	-299	-12	-293	-12	-299	-12
11.5	11.25	-303	-8	-297	-8	-303	-8
12	11.75	-306	-6	-301	-8	-306	-6
13	12.5	-310	-4	-309	-8	-310	-4
14	13.5	-312	-2	-311	-2	-312	-2
15	14.5	-314	-2	-311	0	-314	-2
16	15.5	-314	0	-312	-1	-314	0
17	16.5	-316	-2	-312	0	-316	-2
18	17.5	-316	0	-314	-2	-316	0
19	18.5	-316	0	-314	0	-316	0
20	19.5	-318	-2	-316	-2	-318	-2

Tabla 18. Resultados de las valoraciones de HNO₃ 0.0862 M con el electrodo comercial.

○ **Concentración 0.00862 M**

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		141.1		135.5		166	
1	0.5	131.1	-10	125.2	-10.3	149.5	-16.5
2	1.5	122.8	-8.3	115.8	-9.4	135	-14.5
3	2.5	115.1	-7.7	109.1	-6.7	127.3	-7.7
4	3.5	108.5	-6.6	101.4	-7.7	118.6	-8.7
5	4.5	100.2	-8.3	93.6	-7.8	110.4	-8.2
6	5.5	90.3	-9.9	84.2	-9.4	100.3	-10.1
7	6.5	78.7	-11.6	73.3	-10.9	89.9	-10.4
8	7.5	62.1	-16.6	58.9	-14.4	75.7	-14.2
8.5	8.25	-88.4	-301	23.2	-71.4	35.8	-79.8
9	8.75	-279	-381.2	-98.3	-243	-43.2	-158
9.5	9.25	-303	-48	-268	-339.4	-298.4	-510.4
10	9.75	-315	-24	-301	-66	-307	-17.2
10.5	10.25	-322	-14	-313	-24	-320	-26
11	10.75	-329	-14	-320	-14	-326	-12
11.5	11.25	-332	-6	-328	-16	-333	-14
12	11.75	-334	-4	-332	-8	-336	-6
13	12.5	-338	-4	-335	-3	-338	-2
14	13.5	-342	-4	-340	-5	-340	-2
15	14.5	-344	-2	-344	-4	-342	-2
16	15.5	-346	-2	-346	-2	-342	0
17	16.5	-348	-2	-348	-2	-344	-2
18	17.5	-348	0	-350	-2	-346	-2
19	18.5	-350	-2	-352	-2	-346	0
20	19.5	-350	0	-352	0	-346	0

Tabla 19. Resultados de las valoraciones de HNO₃ 0.00862 M con el electrodo 2 Encapsulado.

Vol. (mL)	Vol.	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
	Promedio (mL)	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		241		238		241	
1	0.5	239	-2	236	-2	239	-2
2	1.5	237	-2	234	-2	237	-2
3	2.5	233	-4	230	-4	233	-4
4	3.5	229	-4	226	-4	229	-4
5	4.5	225	-4	222	-4	225	-4
6	5.5	218	-7	216	-6	218	-7
7	6.5	211	-7	209	-7	211	-7
8	7.5	197	-14	194	-15	197	-14
8.5	8.25	167.2	-59.6	165.8	-56.4	167.2	-59.6
9	8.75	31.6	-271.2	51.6	-228.4	31.6	-271.2
9.5	9.25	-209	-481.2	-210	-523.2	-209	-481.2
10	9.75	-232	-46	-230	-40	-232	-46
10.5	10.25	-243	-22	-241	-22	-243	-22
11	10.75	-250	-14	-249	-16	-250	-14
11.5	11.25	-255	-10	-253	-8	-255	-10
12	11.75	-258	-6	-256	-6	-258	-6
13	12.5	-260	-2	-259	-3	-260	-2
14	13.5	-264	-4	-262	-3	-264	-4
15	14.5	-268	-4	-267	-5	-268	-4
16	15.5	-270	-2	-270	-3	-270	-2
17	16.5	-272	-2	-272	-2	-272	-2
18	17.5	-274	-2	-274	-2	-274	-2
19	18.5	-276	-2	-276	-2	-276	-2
20	19.5	-276	0	-279	-3	-276	0

Tabla 20. Resultados de las valoraciones de HNO_3 0.00862 M con el electrodo comercial.

○ **Concentración 0.0053 M**

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		49.4		59.9		45.3	
1	0.5	38.6	-10.8	50.6	-9.3	29.7	-15.6
2	1.5	31.9	-6.7	43.8	-6.8	22.4	-7.3
3	2.5	17.4	-14.5	31.2	-12.6	15.6	-6.8
4	3.5	21.9	4.5	24.4	-6.8	12.1	-3.5
5	4.5	16.1	-5.8	19.2	-5.2	6.9	-5.2
6	5.5	9	-7.1	13.1	-6.1	-2.8	-9.7
7	6.5	1.7	-7.3	0.8	-12.3	-10.4	-7.6
8	7.5	-8.7	-10.4	-9.3	-10.1	-21.1	-10.7
8.5	8.25	-24.4	-31.4	-27.2	-35.8	-56.9	-71.6
9	8.75	-37.3	-25.8	-36.1	-17.8	-136.6	-159.4
9.5	9.25	-76.5	-78.4	-80.6	-89	-270	-266.8
10	9.75	-188.6	-224.2	-174.6	-188	-276	-12
10.5	10.25	-262	-146.8	-258	-166.8	-286	-20
11	10.75	-279	-34	-275	-34	-290	-8
11.5	11.25	-288	-18	-283	-16	-294	-8
12	11.75	-293	-10	-288	-10	-296	-4
13	12.5	-297	-4	-293	-5	-302	-6
14	13.5	-303	-6	-297	-4	-306	-4
15	14.5	-307	-4	-302	-5	-308	-2
16	15.5	-315	-8	-307	-5	-310	-2
17	16.5	-317	-2	-310	-3	-312	-2
18	17.5	-317	0	-313	-3	-314	-2
19	18.5	-319	-2	-316	-3	-316	-2
20	19.5	-319	0	-316	0	-318	-2

Tabla 21. Resultados de las valoraciones de HNO₃ 0.0053 M con el electrodo 2 Encapsulado.

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		225		224		225	
1	0.5	223	-2	222	-2	223	-2
2	1.5	221	-2	220	-2	221	-2
3	2.5	218	-3	217	-3	218	-3
4	3.5	214	-4	214	-3	214	-4
5	4.5	208	-6	209	-5	208	-6
6	5.5	204	-4	204	-5	204	-4
7	6.5	197.3	-6.7	195.1	-8.9	197.3	-6.7
8	7.5	188.5	-8.8	182.6	-12.5	188.5	-8.8
8.5	8.25	173.4	-30.2	169.4	-26.4	173.4	-30.2
9	8.75	162.1	-22.6	152.4	-34	162.1	-22.6
9.5	9.25	118.7	-86.8	117.8	-69.2	118.7	-86.8
10	9.75	-92.3	-422	-174	-583.6	-92.3	-422
10.5	10.25	-188	-191.4	-209	-70	-188	-191.4
11	10.75	-208	-40	-221	-24	-208	-40
11.5	11.25	-219	-22	-229	-16	-219	-22
12	11.75	-225	-12	-235	-12	-225	-12
13	12.5	-230	-5	-240	-5	-230	-5
14	13.5	-237	-7	-247	-7	-237	-7
15	14.5	-241	-4	-252	-5	-241	-4
16	15.5	-245	-4	-255	-3	-245	-4
17	16.5	-247	-2	-258	-3	-247	-2
18	17.5	-249	-2	-258	0	-249	-2
19	18.5	-251	-2	-260	-2	-251	-2
20	19.5	-253	-2	-260	0	-253	-2

Tabla 22. Resultados de las valoraciones de HNO₃ 0.0053 M con el electrodo comercial.

- Valoraciones de NaOH
 - Concentración 0.095 M

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		-378		-367		-359	
1	0.5	-373	5	-359	8	-345	14
2	1.5	-365	8	-351	8	-338	7
3	2.5	-357	8	-344	7	-330.4	7.6
4	3.5	-351	6	-337	7	-318	12.4
5	4.5	-345	6	-328	9	-310	8
6	5.5	-334	11	-319	9	-305	5
7	6.5	-326	8	-309	10	-298	7
8	7.5	-317	9	-298	11	-287	11
8.5	8.25	-307	20	-290	16	-279	16
9	8.75	-299	16	-278	24	-271.3	15.4
9.5	9.25	-289	20	-264	28	-264	14.6
10	9.75	-281	16	-234	60	-249	30
10.5	10.25	-226.1	109.8	-35.1	397.8	76	650
11	10.75	-40.2	371.8	98.4	267	85.3	18.6
11.5	11.25	93.6	267.6	110.7	24.6	98.3	26
12	11.75	107.6	28	119.3	17.2	105.9	15.2
13	12.5	117.7	10.1	129.1	9.8	112.2	6.3
14	13.5	128.4	10.7	138.2	9.1	120.4	8.2
15	14.5	137.5	9.1	144.8	6.6	133.7	13.3
16	15.5	142.8	5.3	148.2	3.4	138.4	4.7
17	16.5	147.9	5.1	152.4	4.2	145.8	7.4
18	17.5	151.3	3.4	155.6	3.2	147.3	1.5
19	18.5	153.7	2.4	158.2	2.6	149.1	1.8
20	19.5	155.7	2	160.8	2.6	151.6	2.5

Tabla 23. Resultados de las valoraciones de NaOH 0.095 M con el electrodo 2 Encapsulado.

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		-320		-328		-320	
1	0.5	-320	0	-328	0	-320	0
2	1.5	-320	0	-326	2	-320	0
3	2.5	-318	2	-326	0	-318	2
4	3.5	-318	0	-324	2	-318	0
5	4.5	-316	2	-322	2	-316	2
6	5.5	-316	0	-320	2	-316	0
7	6.5	-312	4	-318	2	-312	4
8	7.5	-305	7	-310	8	-305	7
8.5	8.25	-301	8	-305	10	-301	8
9	8.75	-293	16	-297	16	-293	16
9.5	9.25	-286	14	-288	18	-286	14
10	9.75	-268	36	-271	34	-268	36
10.5	10.25	55.2	646.4	104.3	750.6	55.2	646.4
11	10.75	222	333.6	220	231.4	222	333.6
11.5	11.25	238	32	236	32	238	32
12	11.75	246	16	242	12	246	16
13	12.5	254	8	251	9	254	8
14	13.5	259	5	256	5	259	5
15	14.5	262	3	260	4	262	3
16	15.5	266	4	262	2	266	4
17	16.5	268	2	264	2	268	2
18	17.5	270	2	266	2	270	2
19	18.5	270	0	268	2	270	0
20	19.5	272	2	268	0	272	2

Tabla 24. Resultados de las valoraciones de NaOH 0.095 M con el electrodo comercial.

○ **Concentración 0.0095 M**

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		-327		-320		-328	
1	0.5	-322	5	-316	4	-324	4
2	1.5	-315	7	-310	6	-316	8
3	2.5	-309	6	-304	6	-309	7
4	3.5	-303	6	-299	5	-305	4
5	4.5	-298	5	-294	5	-298	7
6	5.5	-289	9	-286	8	-290	8
7	6.5	-281	8	-278	8	-283	7
8	7.5	-272	9	-270	8	-274	9
8.5	8.25	-266	12	-263	14	-265	18
9	8.75	-260	12	-256	14	-259	12
9.5	9.25	-247	26	-245	22	-248	22
10	9.75	-230	34	-230	30	-236	24
10.5	10.25	-141.2	177.6	-138.2	183.6	-209	54
11	10.75	19.3	321	24.8	326	-167.3	83.4
11.5	11.25	41.7	44.8	43.5	37.4	36.8	408.2
12	11.75	50.4	17.4	54.1	21.2	44.1	14.6
13	12.5	61	10.6	65.3	11.2	57.7	13.6
14	13.5	67.6	6.6	72.1	6.8	62.3	4.6
15	14.5	71.6	4	77.2	5.1	68.1	5.8
16	15.5	75.2	3.6	80	2.8	73.9	5.8
17	16.5	78	2.8	82.4	2.4	77.5	3.6
18	17.5	79.2	1.2	84.7	2.3	79.3	1.8
19	18.5	80.6	1.4	86.1	1.4	81.6	2.3
20	19.5	82.1	1.5	87.3	1.2	83.8	2.2

Tabla 25. Resultados de las valoraciones de NaOH 0.0095 M con el electrodo 2 Encapsulado.

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		-290		-294		-290	
1	0.5	-288	2	-292	2	-288	2
2	1.5	-286	2	-290	2	-286	2
3	2.5	-282	4	-285	5	-282	4
4	3.5	-277	5	-282	3	-277	5
5	4.5	-273	4	-277	5	-273	4
6	5.5	-267	6	-273	4	-267	6
7	6.5	-259	8	-268	5	-259	8
8	7.5	-248	11	-260	8	-248	11
8.5	8.25	-241	14	-251	18	-241	14
9	8.75	-232	18	-241	20	-232	18
9.5	9.25	-217	30	-227	28	-217	30
10	9.75	-193.4	47.2	-203	48	-193.4	47.2
10.5	10.25	-170	46.8	-175.4	55.2	-170	46.8
11	10.75	165.6	671.2	169.3	689.4	165.6	671.2
11.5	11.25	190	48.8	194.8	51	190	48.8
12	11.75	199.2	18.4	201	12.4	199.2	18.4
13	12.5	209	9.8	208	7	209	9.8
14	13.5	215	6	212	4	215	6
15	14.5	217	2	214	2	217	2
16	15.5	219	2	216	2	219	2
17	16.5	221	2	218	2	221	2
18	17.5	223	2	220	2	223	2
19	18.5	223	0	222	2	223	0
20	19.5	225	2	224	2	225	2

Tabla 26. Resultados de las valoraciones de NaOH 0.0095 M con el electrodo comercial.

○ **Concentración 0.0055 M**

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		-302		-295		-310	
1	0.5	-300	2	-293	2	-306	4
2	1.5	-298	2	-290	3	-303	3
3	2.5	-294	4	-287	3	-294	9
4	3.5	-290	4	-285	2	-287	7
5	4.5	-287	3	-281	4	-280	7
6	5.5	-283	4	-277	4	-275	5
7	6.5	-277	6	-270	7	-271.3	3.7
8	7.5	-269	8	-263	7	-268	3.3
8.5	8.25	-265	8	-256	14	-265	6
9	8.75	-258	14	-248	16	-260	10
9.5	9.25	-249	18	-240	16	-253	14
10	9.75	-217	64	-208	64	-246	14
10.5	10.25	-80.3	273.4	-76.2	263.6	-227	38
11	10.75	-37	86.6	-28.6	95.2	-116.3	221.4
11.5	11.25	-24.1	25.8	-12.3	32.6	-54.7	123.2
12	11.75	-10.4	27.4	-1.9	20.8	-35.2	39
13	12.5	-3.5	6.9	8.5	10.4	-17.8	17.4
14	13.5	1.7	5.2	11.3	2.8	-4.5	13.3
15	14.5	5.4	3.7	14.2	2.9	-1.1	3.4
16	15.5	9	3.6	16.3	2.1	3.9	5
17	16.5	11.5	2.5	18.5	2.2	8.2	4.3
18	17.5	13.4	1.9	20.7	2.2	11.8	3.6
19	18.5	15.3	1.9	22.8	2.1	12.9	1.1
20	19.5	17.5	2.2	24.2	1.4	14.2	1.3

Tabla 27. Resultados de las valoraciones de NaOH 0.0055M con el electrodo 2 Encapsulado.

Vol. (mL)	Vol. Promedio (mL)	Valoración 1		Valoración 2		Valoración 3	
		Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ	Potencial (mV)	Δ
0		-286		-293		-286	
1	0.5	-282	4	-288	5	-282	4
2	1.5	-276	6	-283	5	-276	6
3	2.5	-271	5	-278	5	-271	5
4	3.5	-266	5	-271	7	-266	5
5	4.5	-260	6	-264	7	-260	6
6	5.5	-250	10	-256	8	-250	10
7	6.5	-240	10	-247	9	-240	10
8	7.5	-226	14	-230	17	-226	14
8.5	8.25	-217	18	-221	18	-217	18
9	8.75	-202	30	-208	26	-202	30
9.5	9.25	-181	42	-181.2	53.6	-181	42
10	9.75	-150.3	61.4	-140.9	80.6	-150.3	61.4
10.5	10.25	125.7	552	130.5	542.8	125.7	552
11	10.75	144.2	37	152.8	44.6	144.2	37
11.5	11.25	162.7	37	172	38.4	162.7	37
12	11.75	178.3	31.2	180.9	17.8	178.3	31.2
13	12.5	191.1	12.8	189.4	8.5	191.1	12.8
14	13.5	197.1	6	194	4.6	197.1	6
15	14.5	201	3.9	197.1	3.1	201	3.9
16	15.5	204	3	199.6	2.5	204	3
17	16.5	206	2	201	1.4	206	2
18	17.5	206	0	203	2	206	0
19	18.5	208	2	203	0	208	2
20	19.5	208	0	205	2	208	0

Tabla 28. Resultados de las valoraciones de NaOH 0.0055 M con el electrodo comercial.

ANEXO III

Valoraciones del electrodo 1 Semi-encapsulado

➤ Valoraciones de HNO₃

- Concentración 0.0862 M

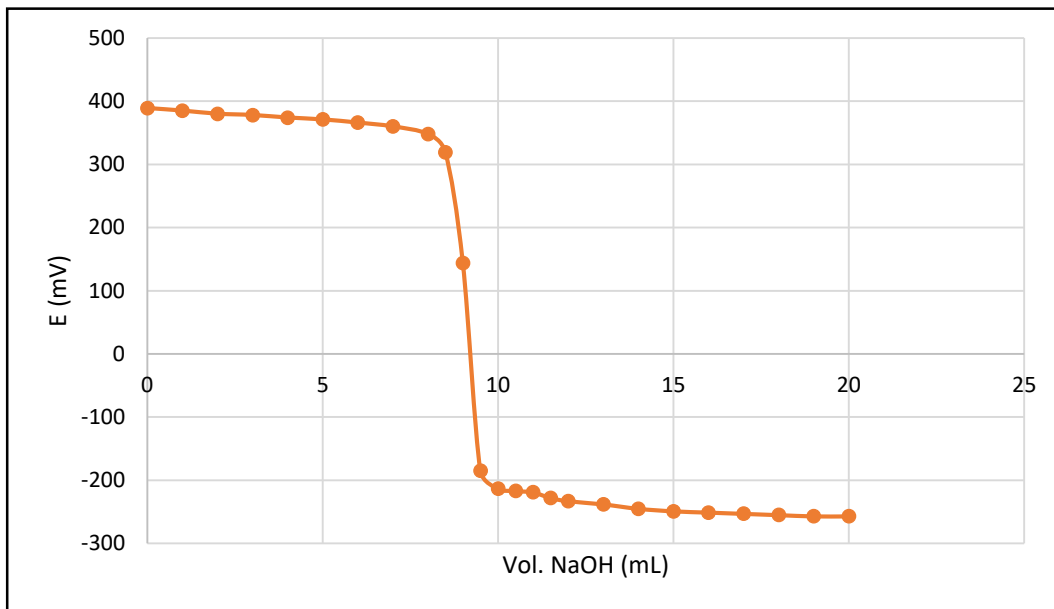


Gráfico 1. Curva de valoración de 10 mL de HNO₃ 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

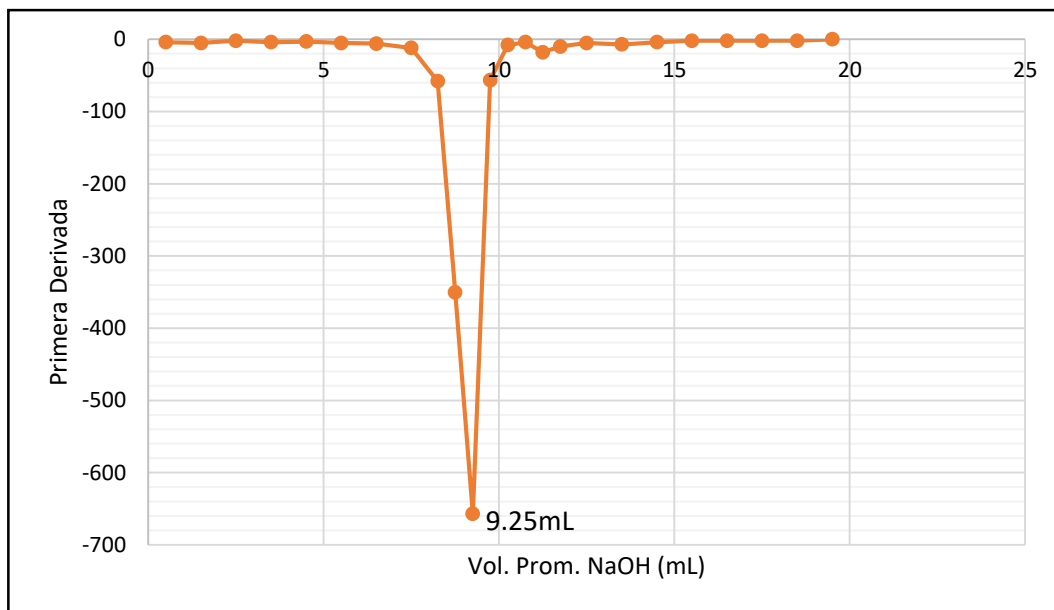


Gráfico 2. Estimación de la primera derivada para la curva de valoración de 10 mL de una solución de HNO₃ 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

○ **Concentración 0.00862 M**

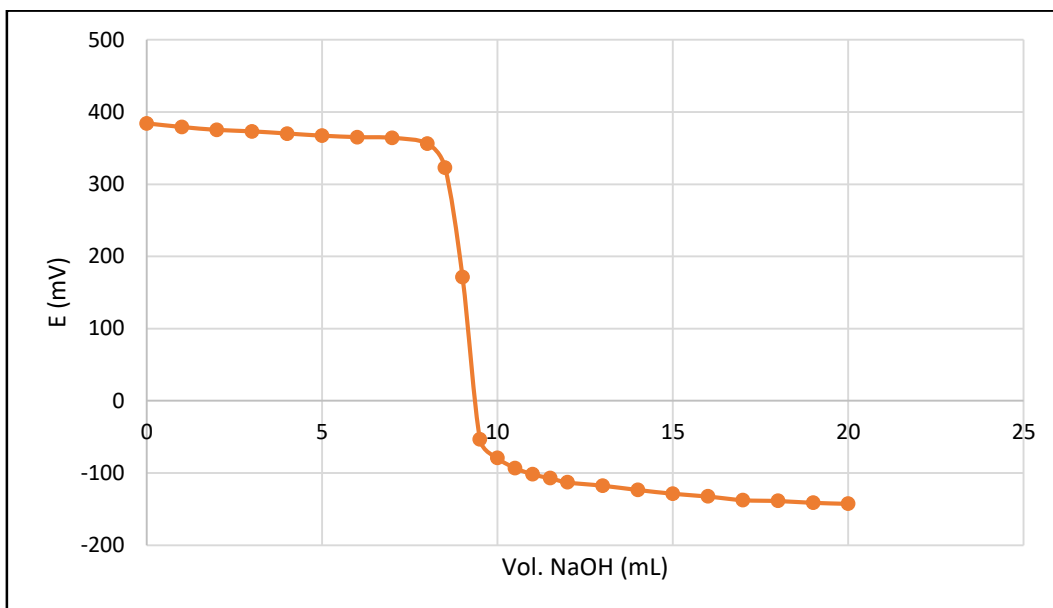


Gráfico 3. Curva de valoración de 10 mL de HNO_3 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

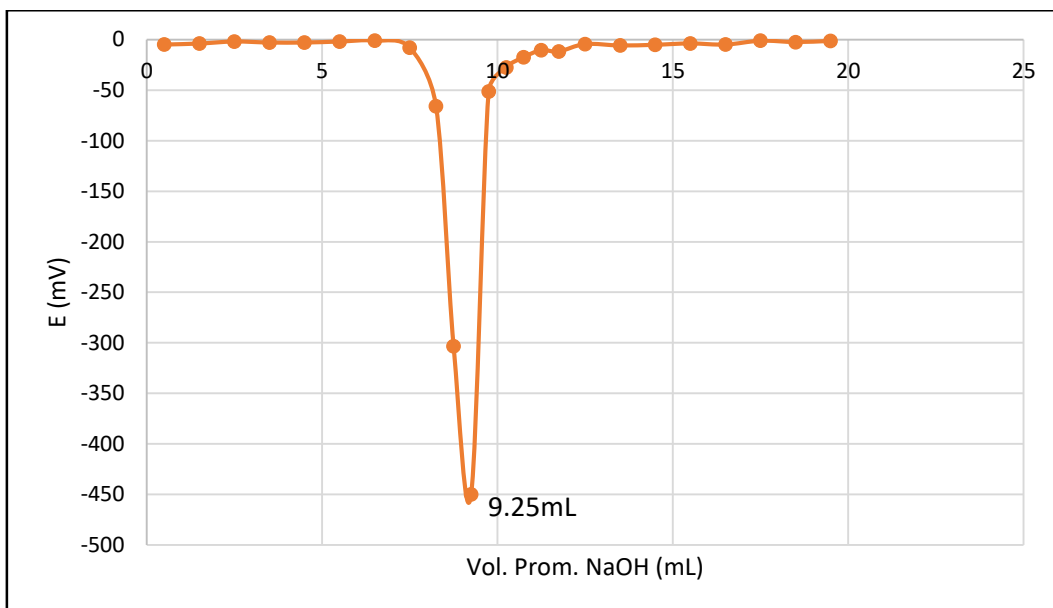


Gráfico 4. Estimación de la primera derivada para la curva de valoración de 10 mL de una solución de HNO_3 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

○ **Concentración 0.0053 M**

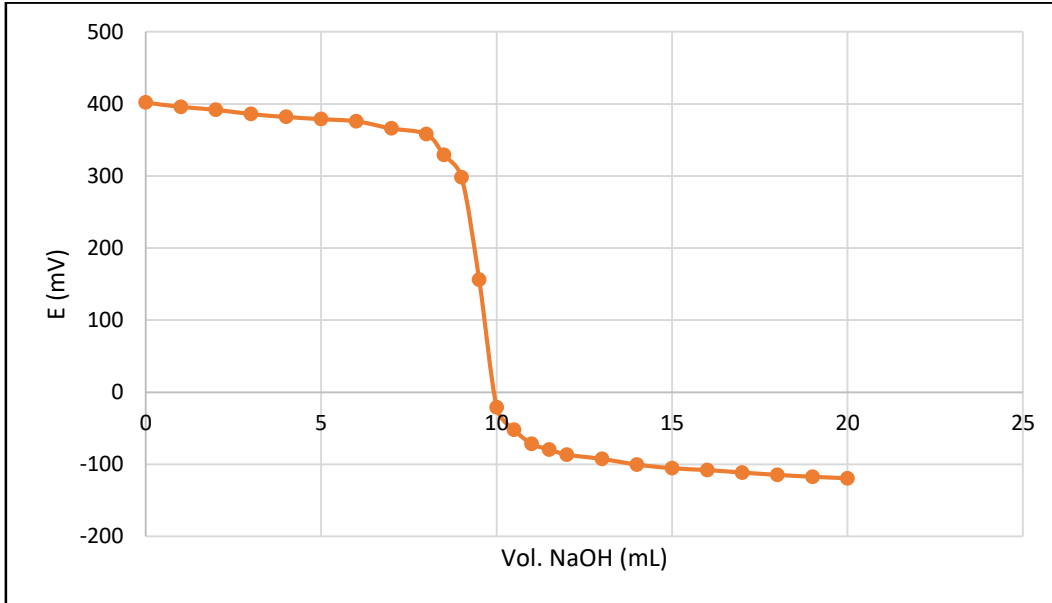


Gráfico 5. Curva de valoración de 10 mL de HNO₃ 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

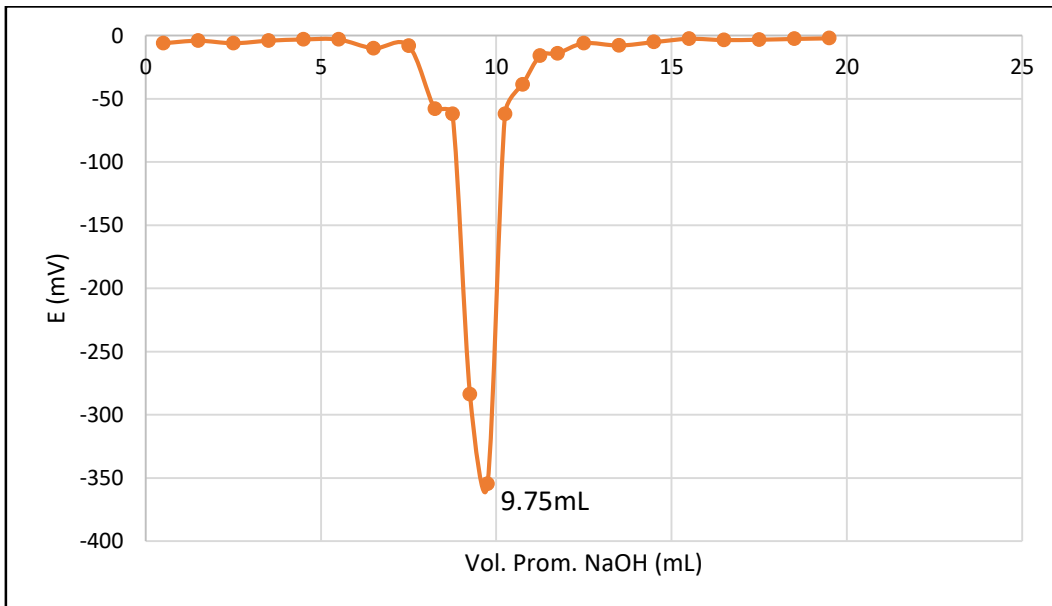


Gráfico 6. Estimación de la primera derivada para la curva de valoración de 10 mL de una solución de HNO₃ 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

➤ **Valoraciones de NaOH**

○ **Concentración 0.095M**

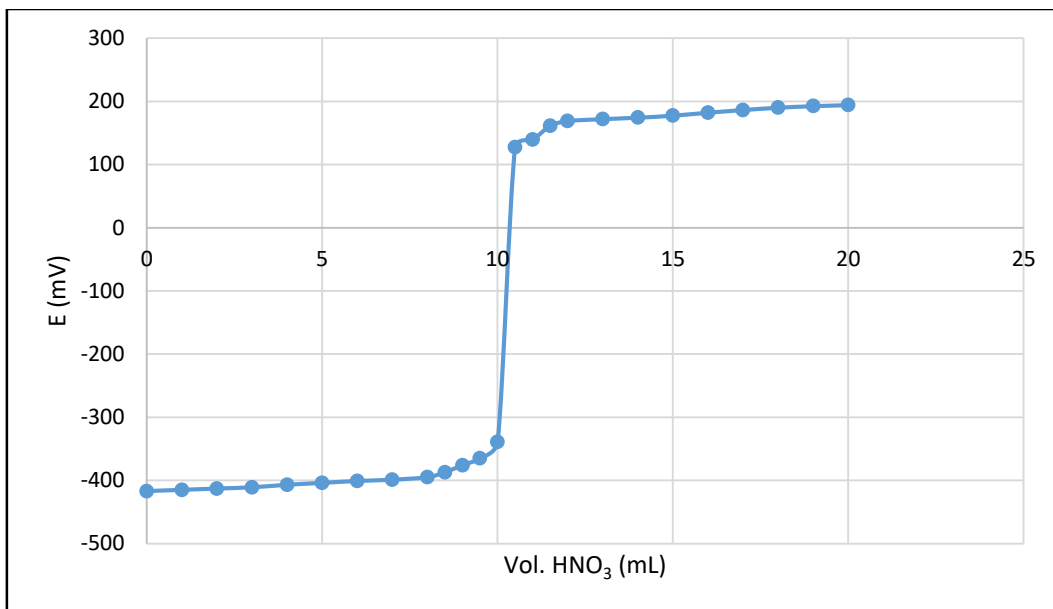


Gráfico 7. Curva de valoración de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

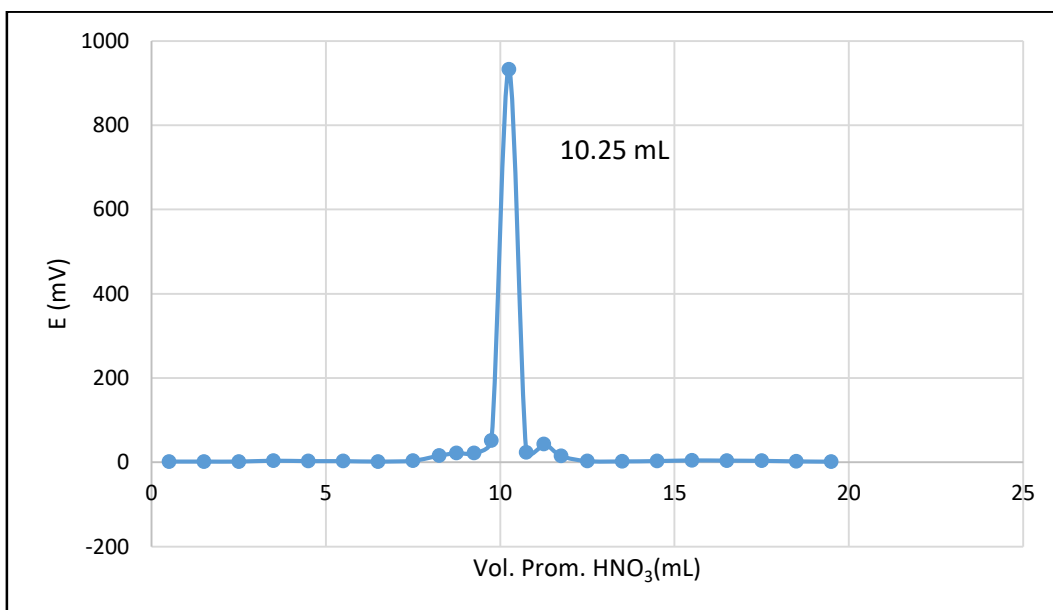


Gráfico 8. Estimación de la primera derivada para la curva de valoración de 10 mL de una solución de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

○ **Concentración 0.0095M**

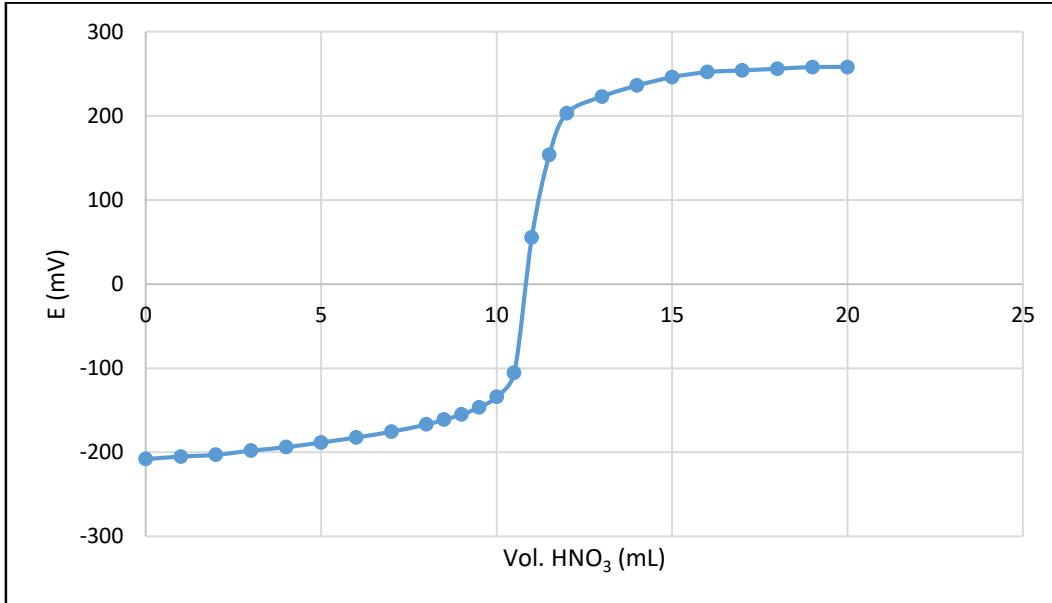


Gráfico 9. Curva de valoración de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

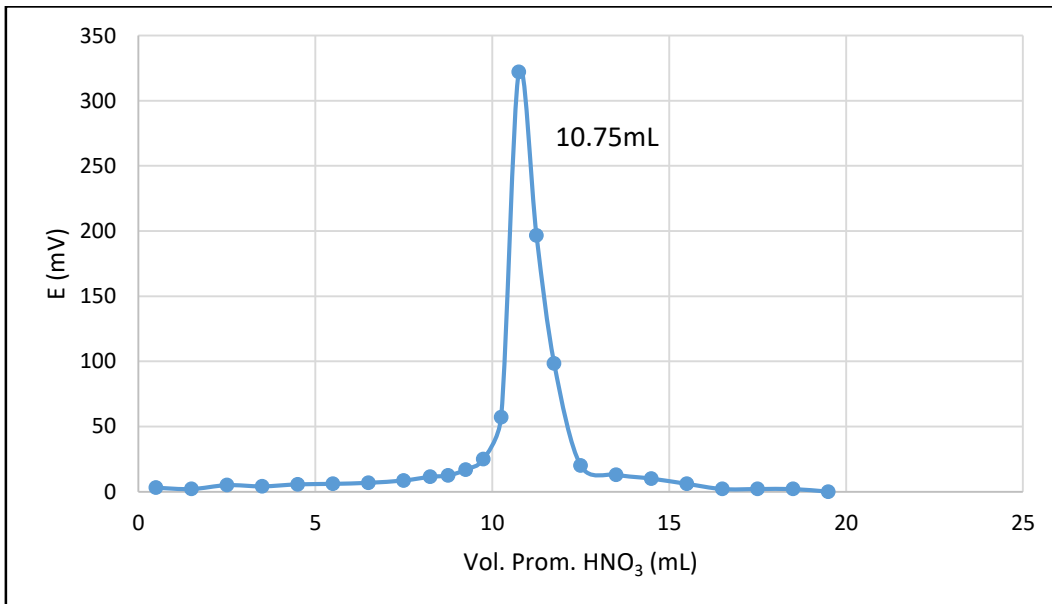


Gráfico 10. Estimación de la primera derivada para la curva de valoración de 10 mL de una solución de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

○ **Concentración 0.0055M**

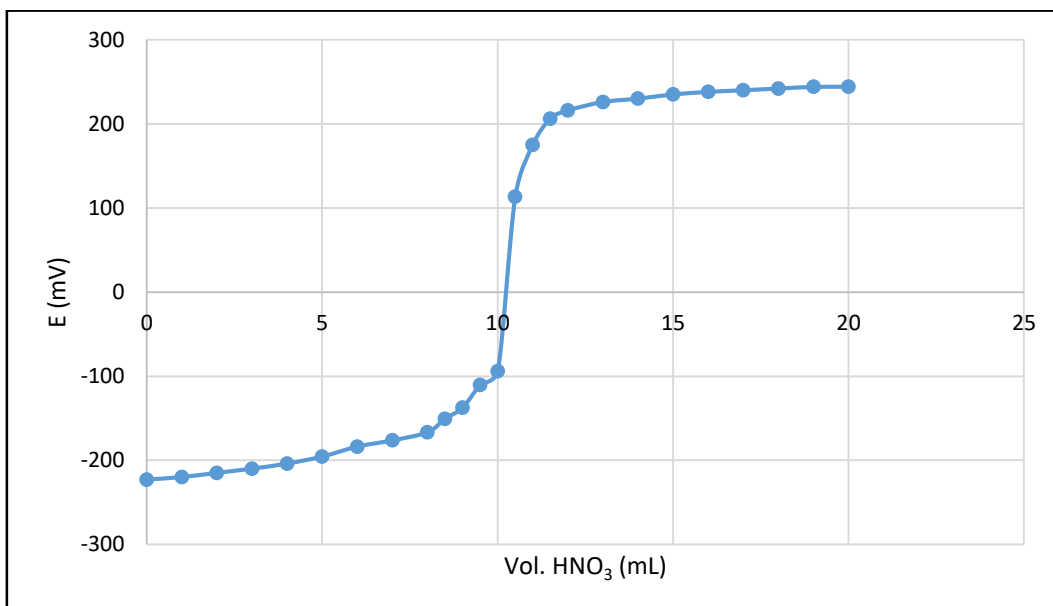


Gráfico 11. Curva de valoración de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

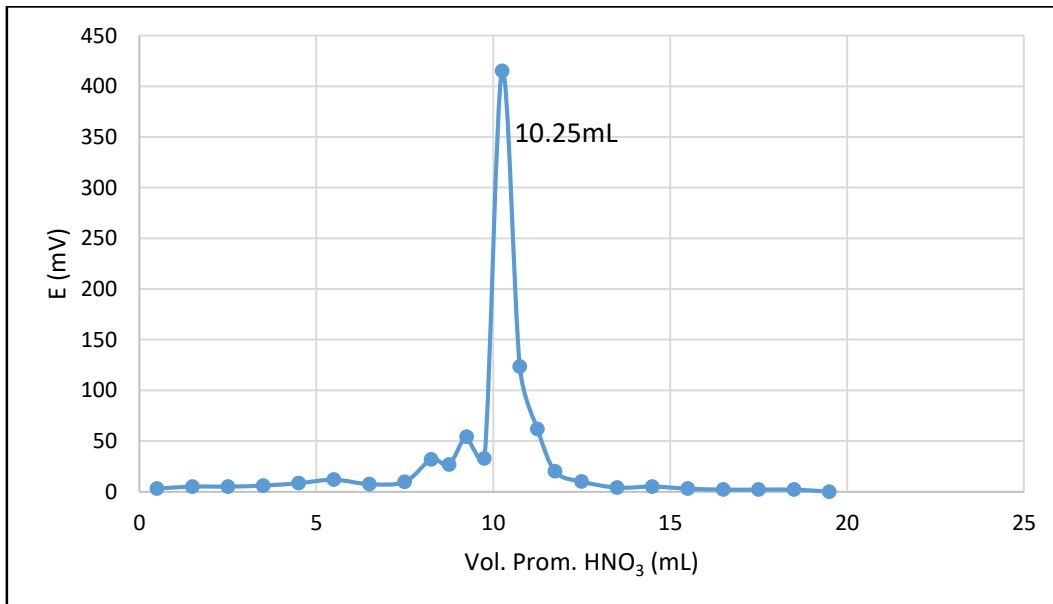


Gráfico 12. Estimación de la primera derivada para la curva de valoración de 10 mL de una solución de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

ANEXO IV

Valoraciones de electrodo 2 Semi-encapsulado

➤ Valoraciones de HNO₃

- Concentración 0.0862 M

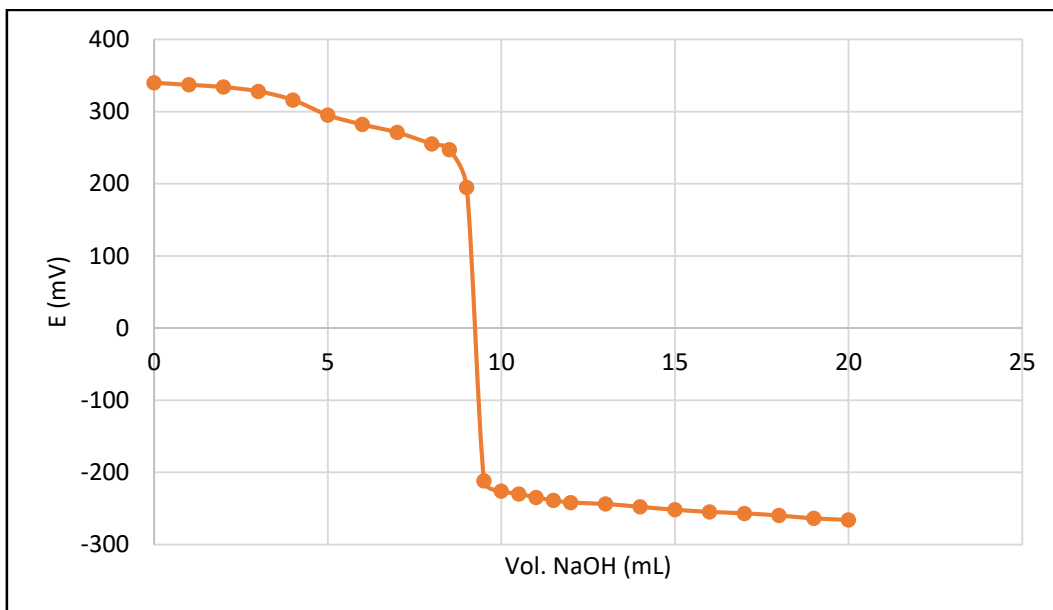


Gráfico 13. Curva de valoración de 10 mL de HNO₃ 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI semi-encapsulado

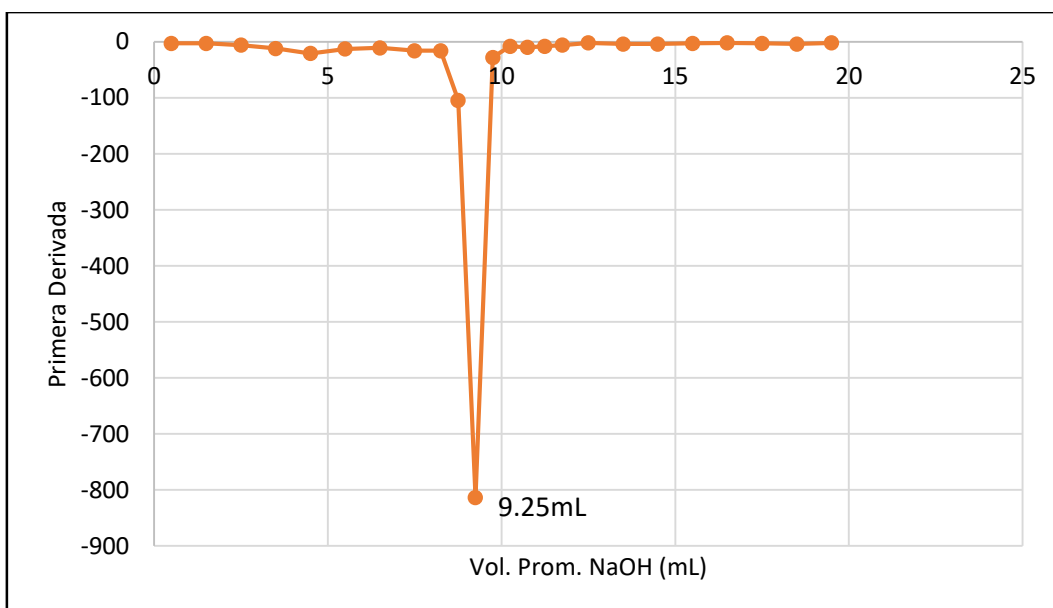


Gráfico 14. Estimación de la primera derivada para la curva de valoración de 10 mL de una solución de HNO₃ 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

○ **Concentración 0.00862 M**

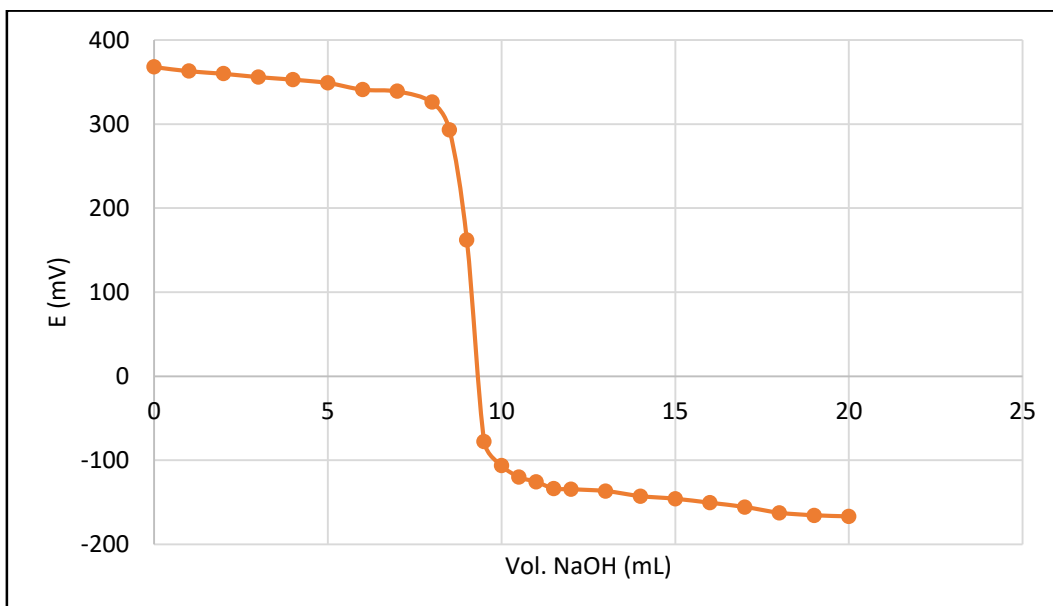


Gráfico 15. Curva de valoración de 10 mL de HNO_3 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

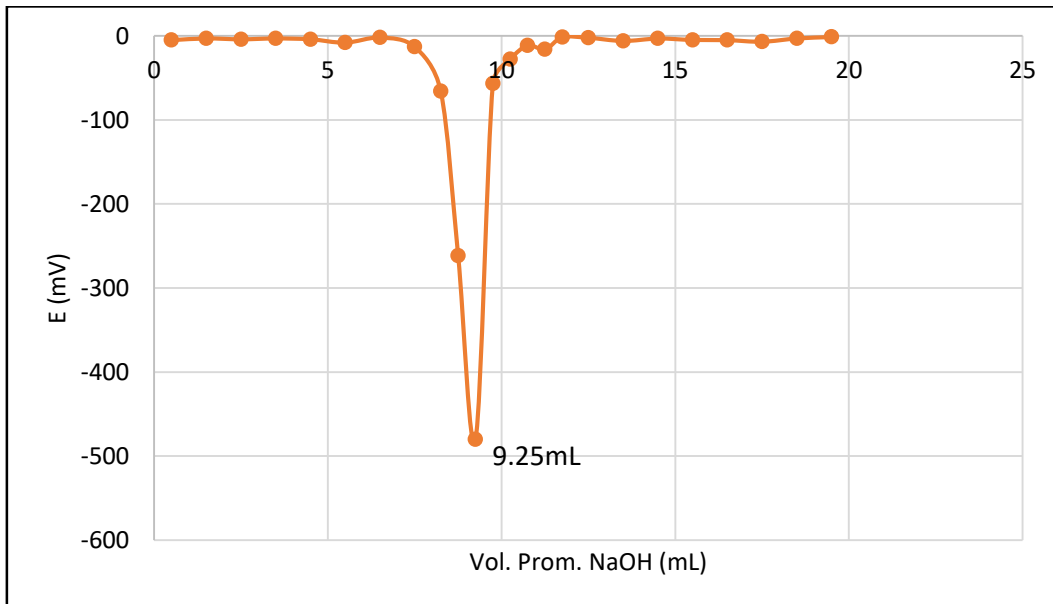


Gráfico 16. Estimación de la primera derivada para la curva de valoración de 10 mL de una solución de HNO_3 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

○ **Concentración 0.0053**

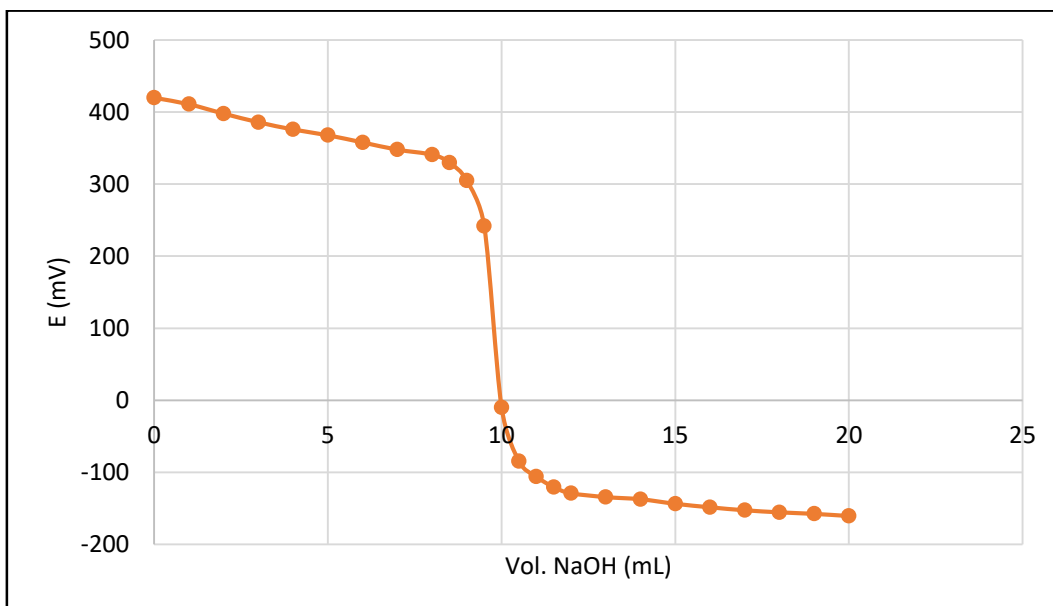


Gráfico 17. Curva de valoración de 10 mL de HNO_3 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

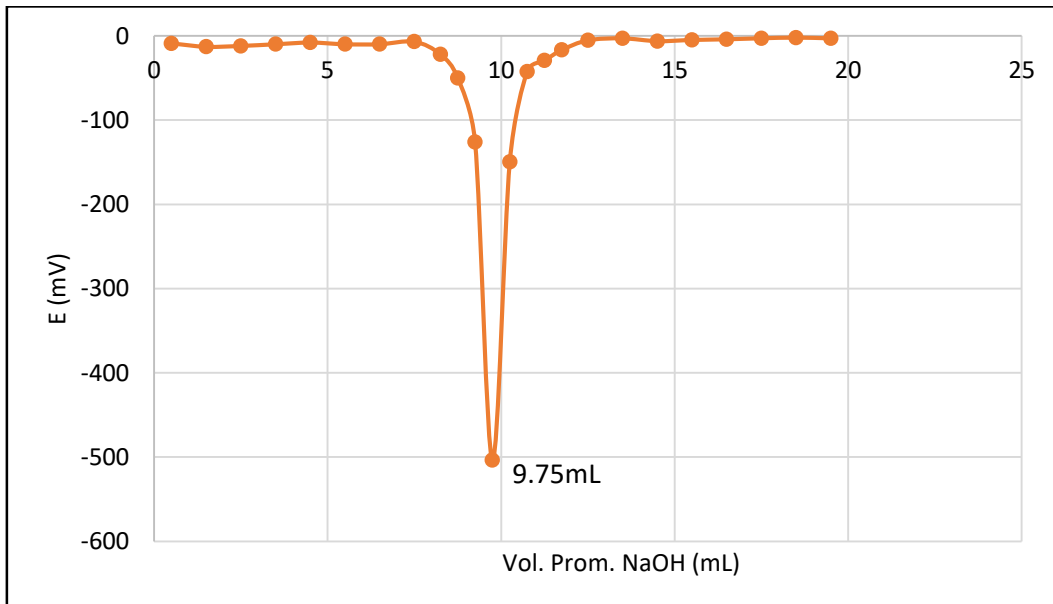


Gráfico 18. Estimación de la primera derivada para la curva de valoración de 10 mL de una solución de HNO_3 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

➤ **Valoraciones de NaOH**

- **Concentración 0.095M**

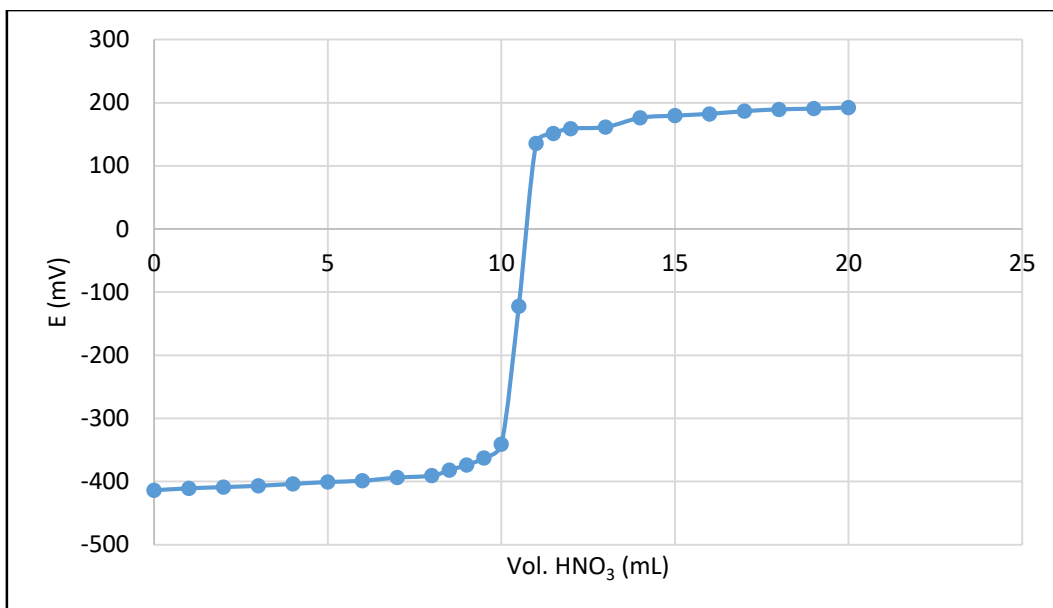


Gráfico 19. Curva de valoración de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

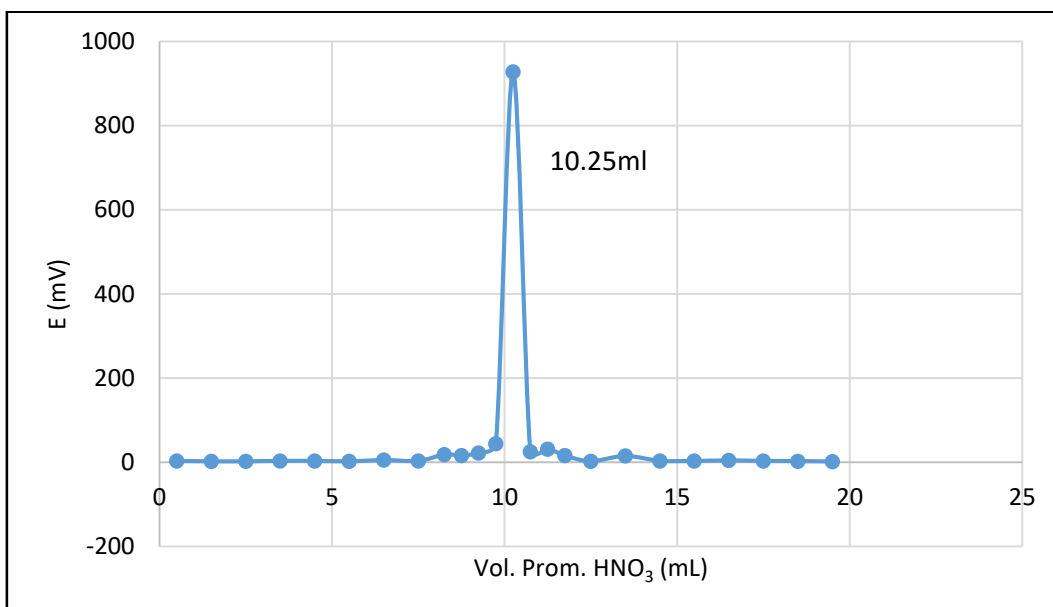


Gráfico 20. Estimación de la primera derivada para la curva de valoración de 10 mL de una solución de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

○ **Concentración 0.0095M**

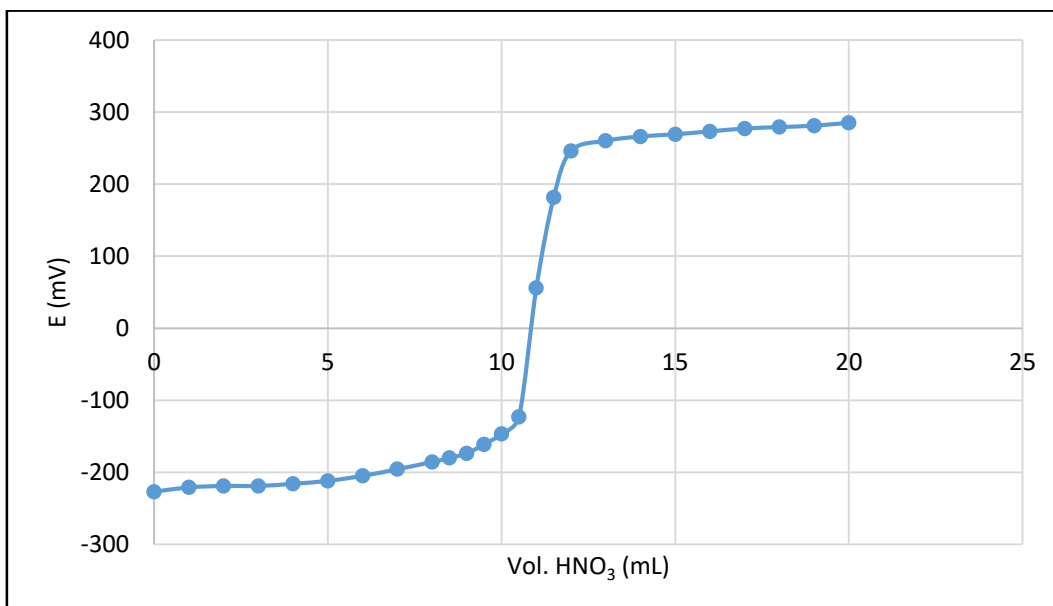


Gráfico 21. Curva de valoración de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

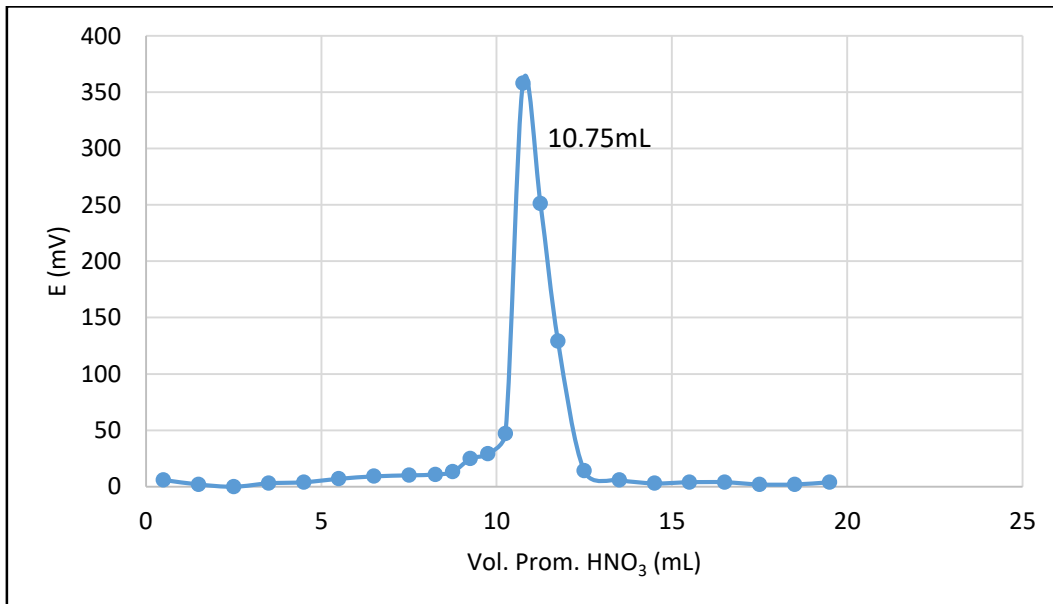


Gráfico 22. Estimación de la primera derivada para la curva de valoración de 10 mL de una solución de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

○ **Concentración 0.0055M**

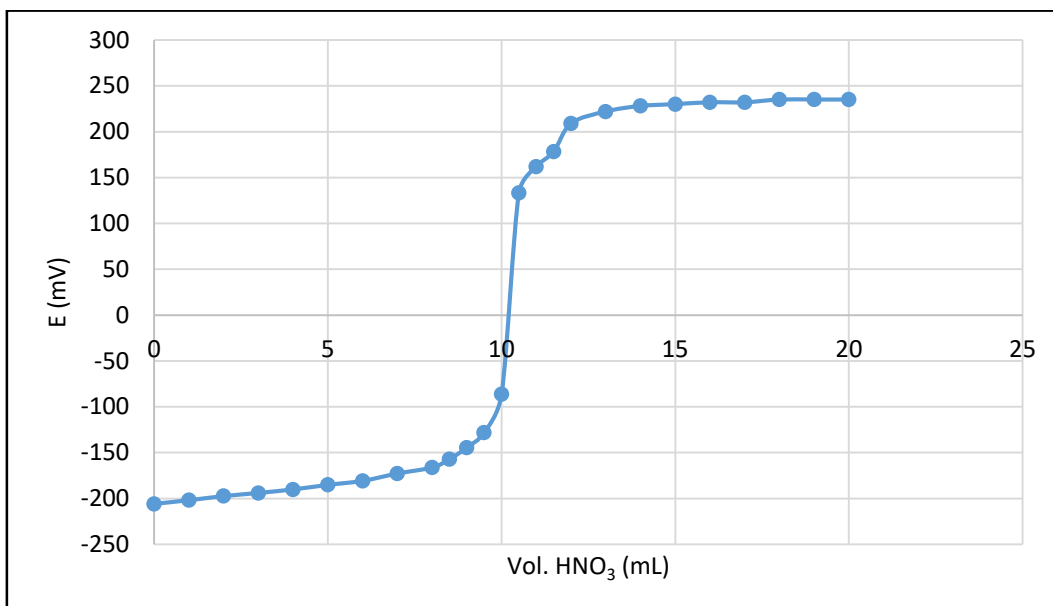


Gráfico 23. Curva de valoración de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

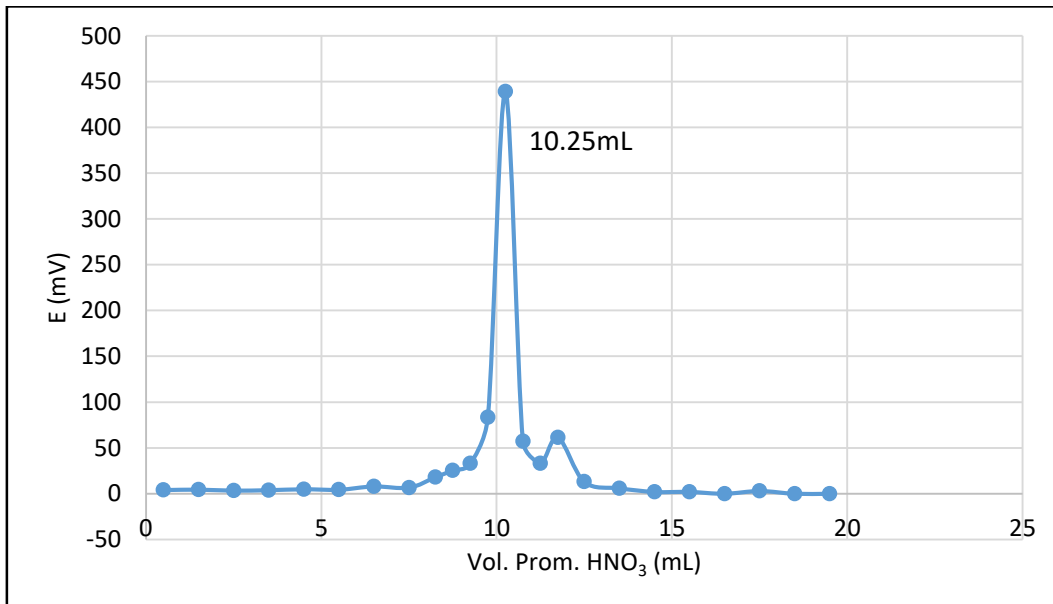


Gráfico 24. Estimación de la primera derivada para la curva de valoración de 10 mL de una solución de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI semi-encapsulado.

ANEXO V

Valoraciones del electrodo 1 Encapsulado

- Valoraciones de HNO₃
 - Concentración 0.0862 M

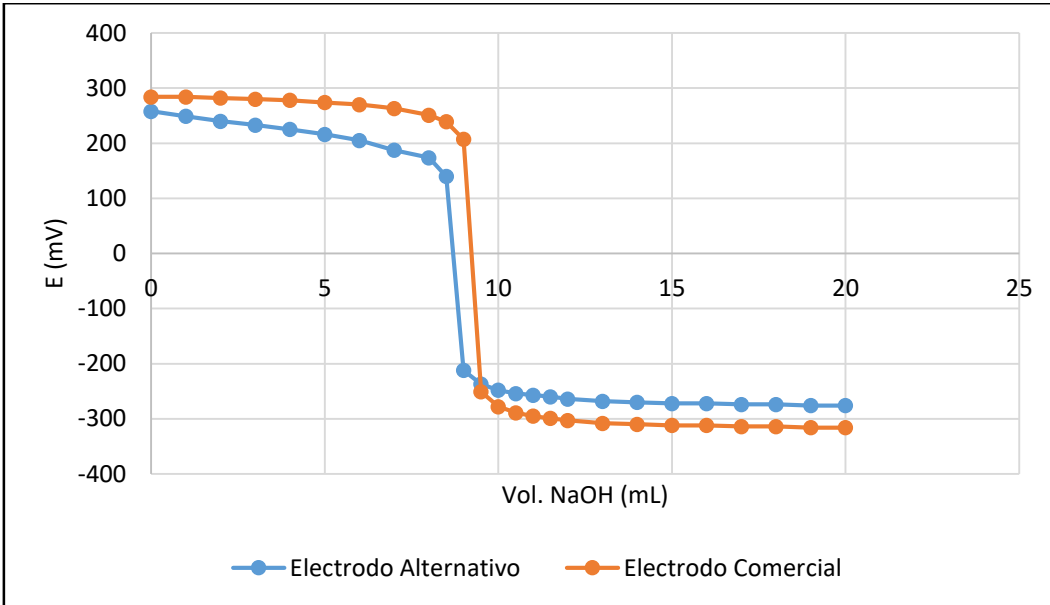


Gráfico 25. Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO₃ 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

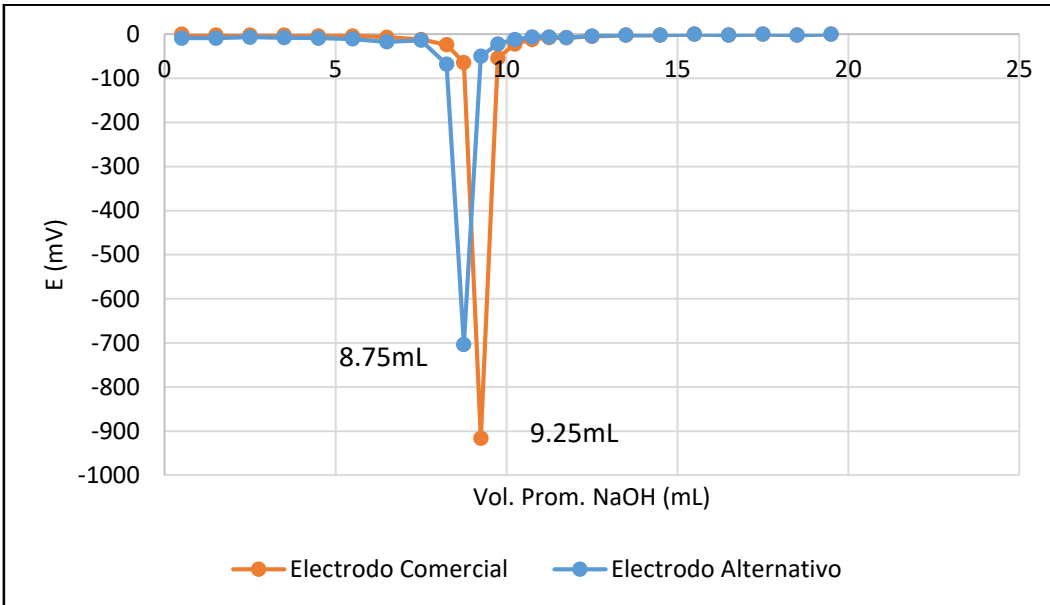


Gráfico 26. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO₃ 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

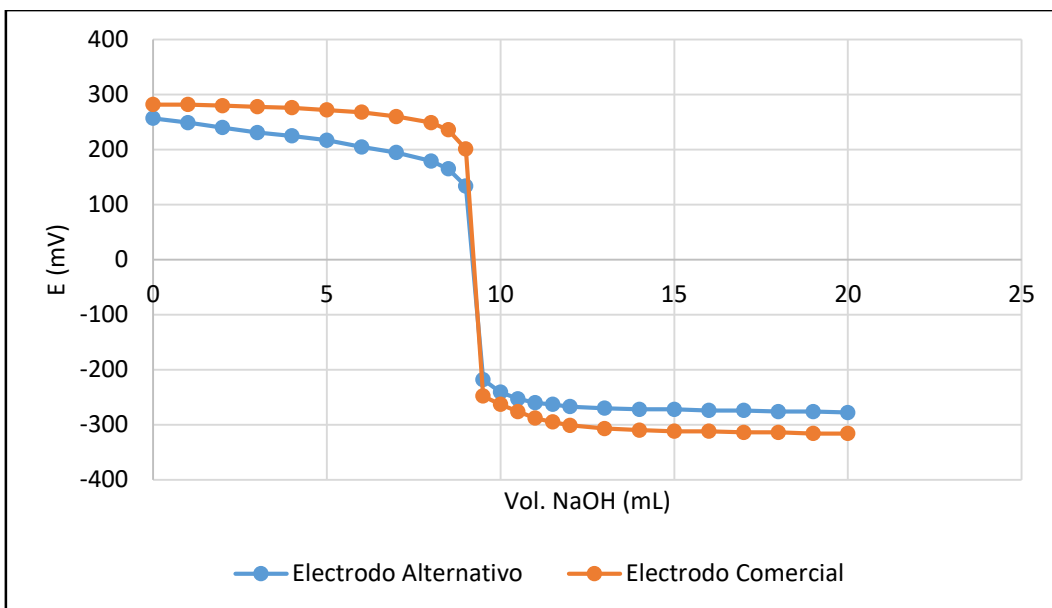


Gráfico 27. Curva de valoración #2 de 10 mL de HNO₃ 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

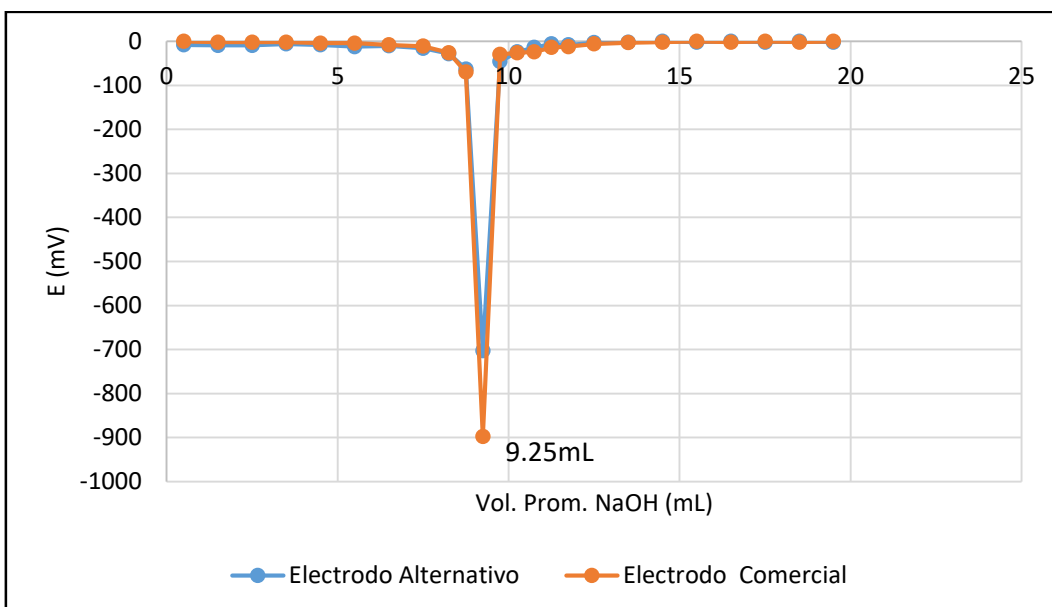


Gráfico 28. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #2 de 10 mL de HNO₃ 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

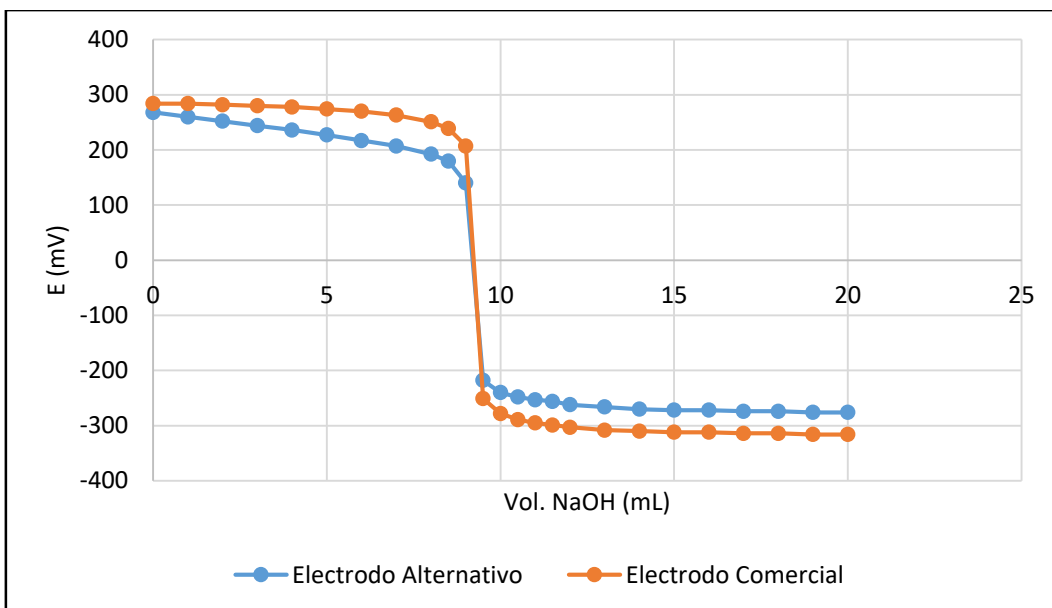


Gráfico 29. Curva de valoración #3 de 10 mL de HNO₃ 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

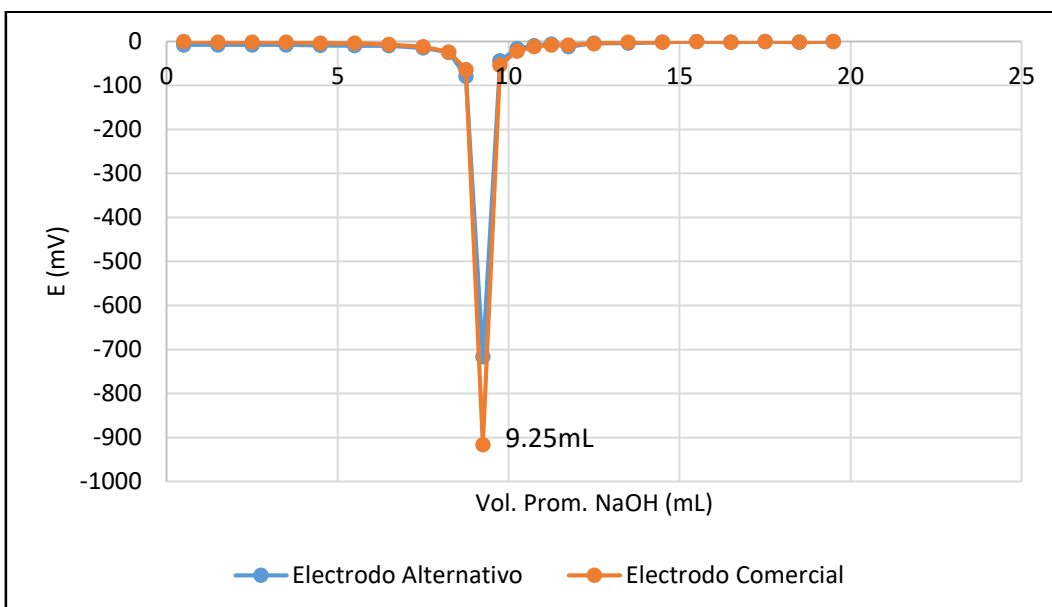


Gráfico 30. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #3 de 10 mL de HNO₃ 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

○ **Concentración 0.00862 M**

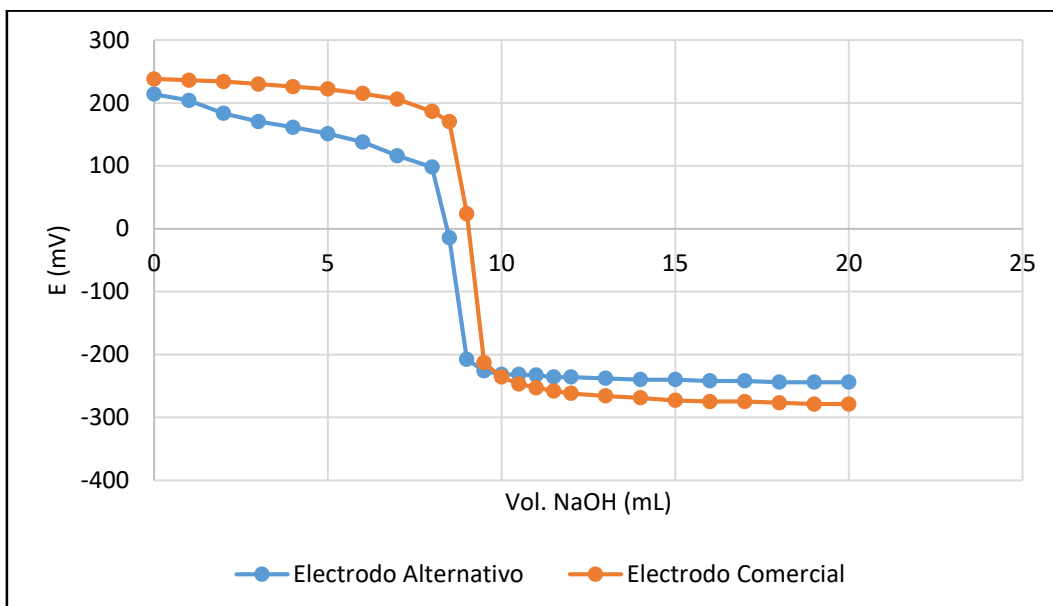


Gráfico 31. Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO₃ 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

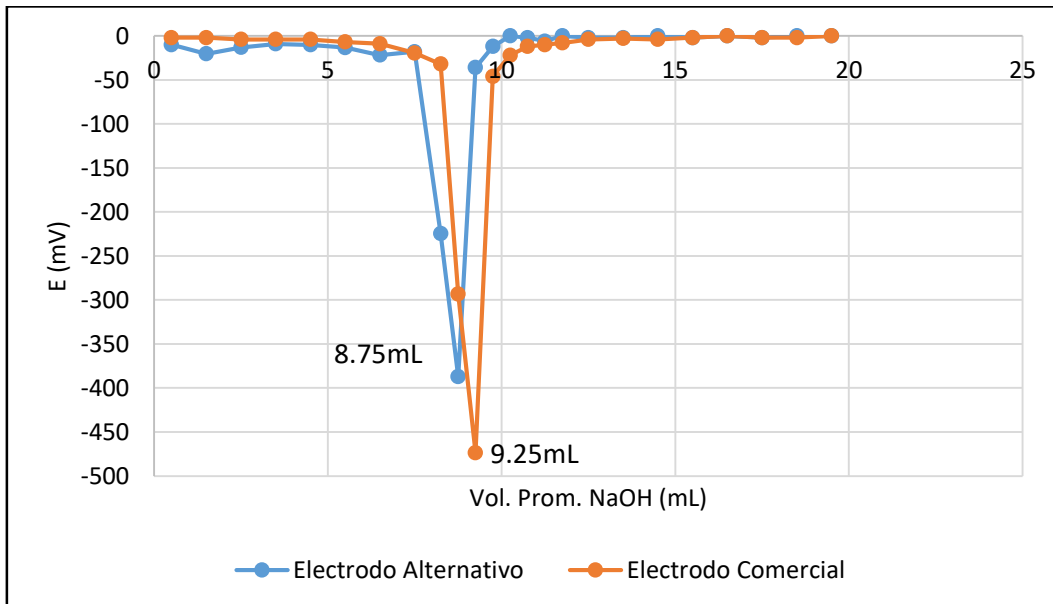


Gráfico 32. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO₃ 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

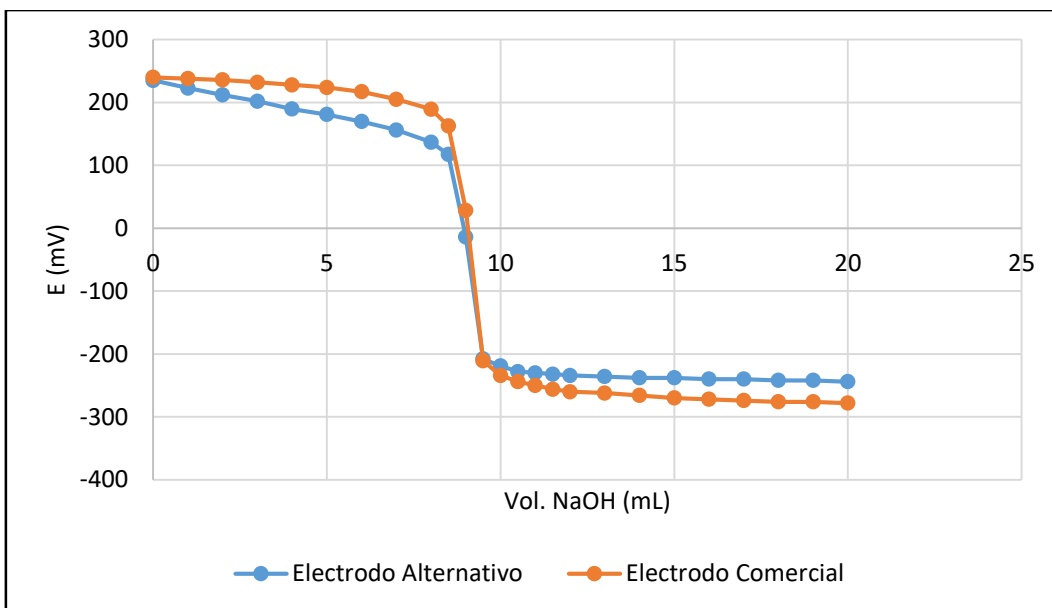


Gráfico 33. Curva de valoración #2 de 10 mL de HNO_3 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

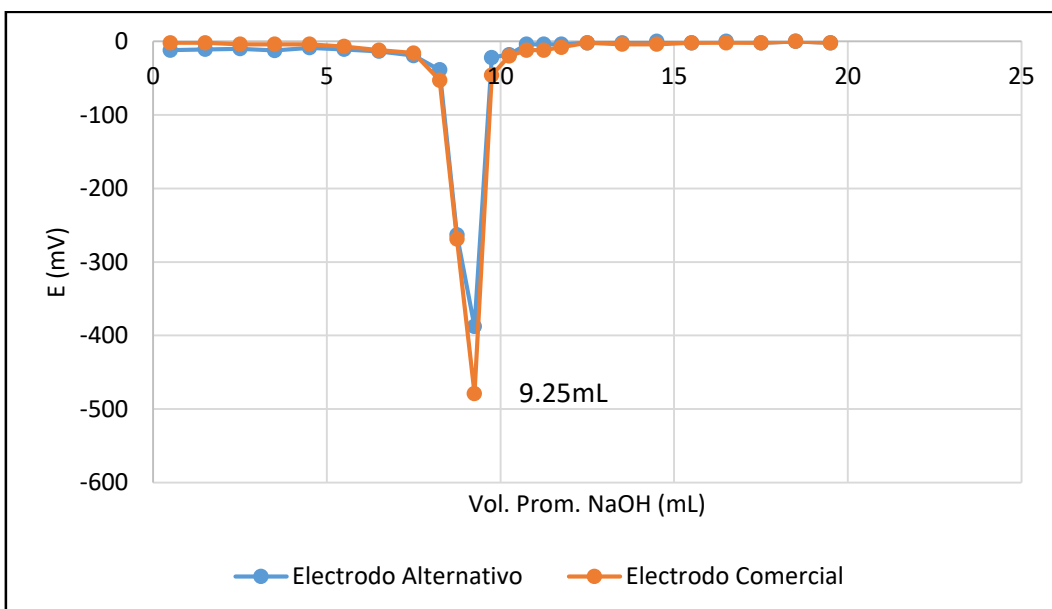


Gráfico 34. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #2 de 10 mL de HNO_3 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

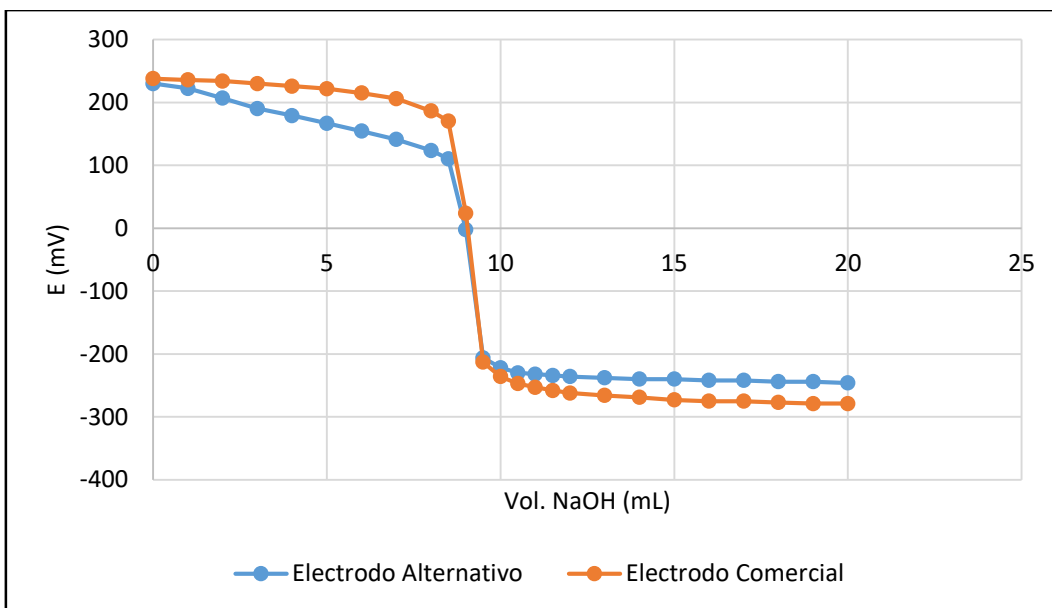


Gráfico 35. Curva de valoración #3 de 10 mL de HNO_3 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

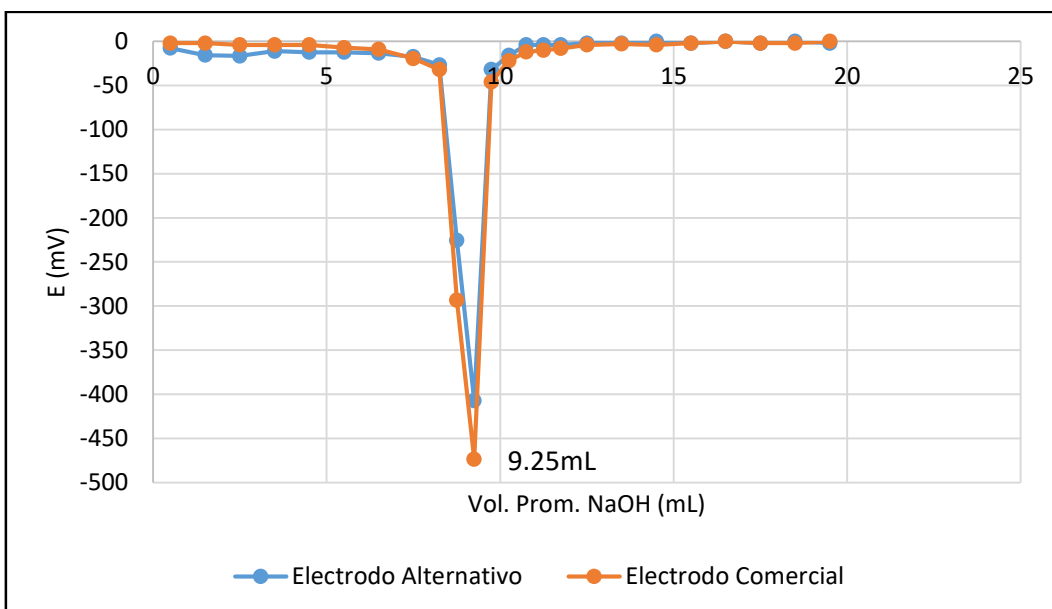


Gráfico 36. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #3 de 10 mL de HNO_3 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

○ **Concentración 0.0053 M**

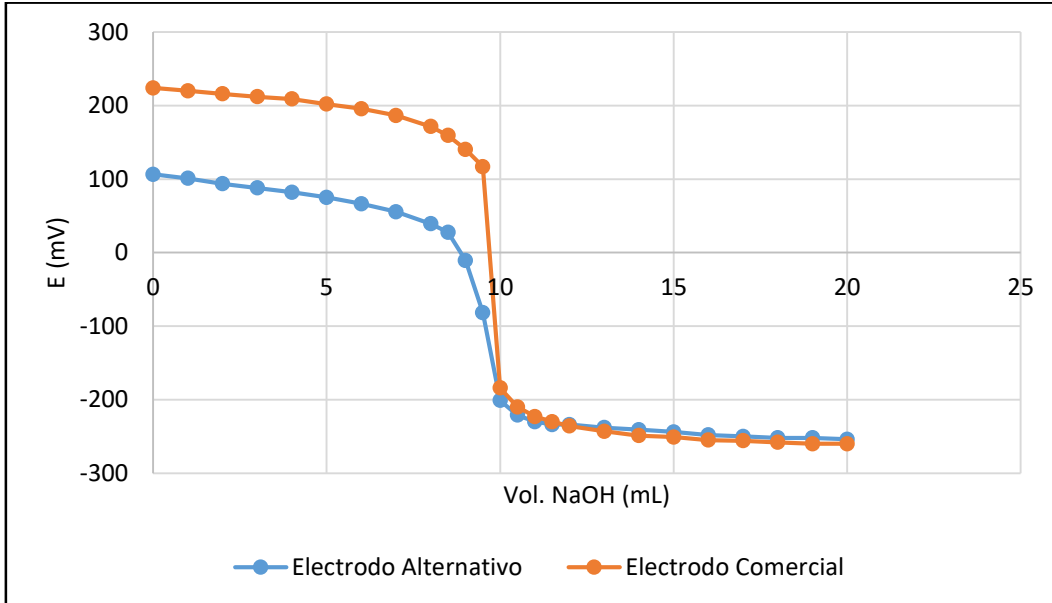


Gráfico 37. Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO_3 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

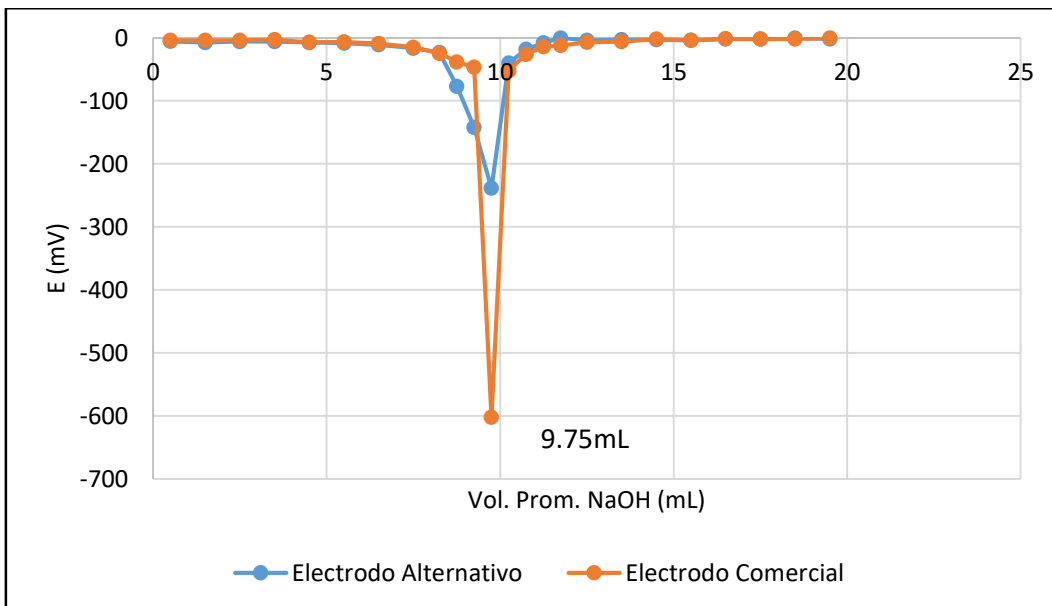


Gráfico 38. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO_3 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

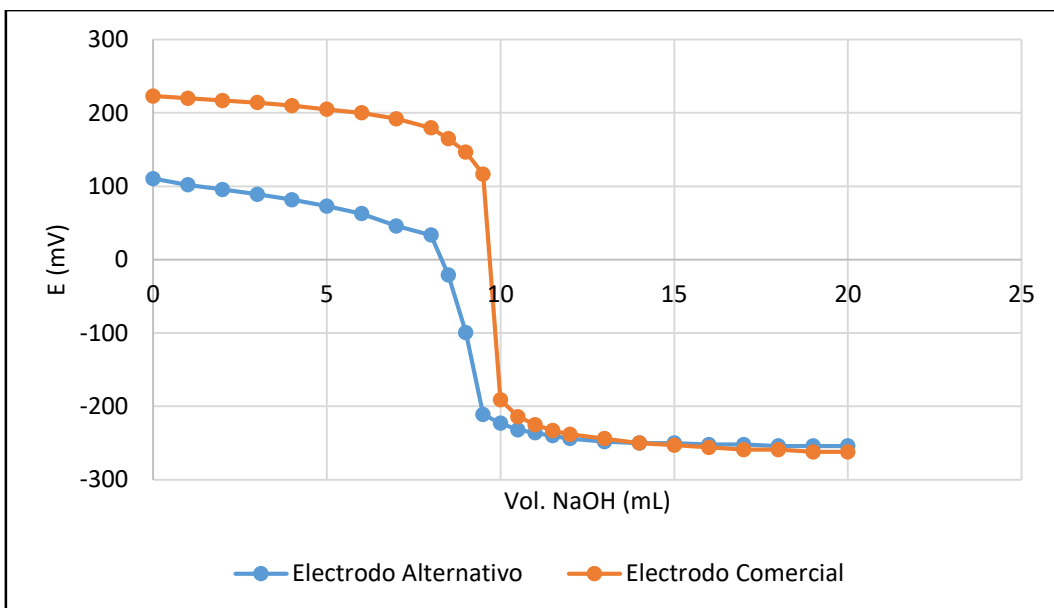


Gráfico 39. Curva de valoración #2 de 10 mL de HNO₃ 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

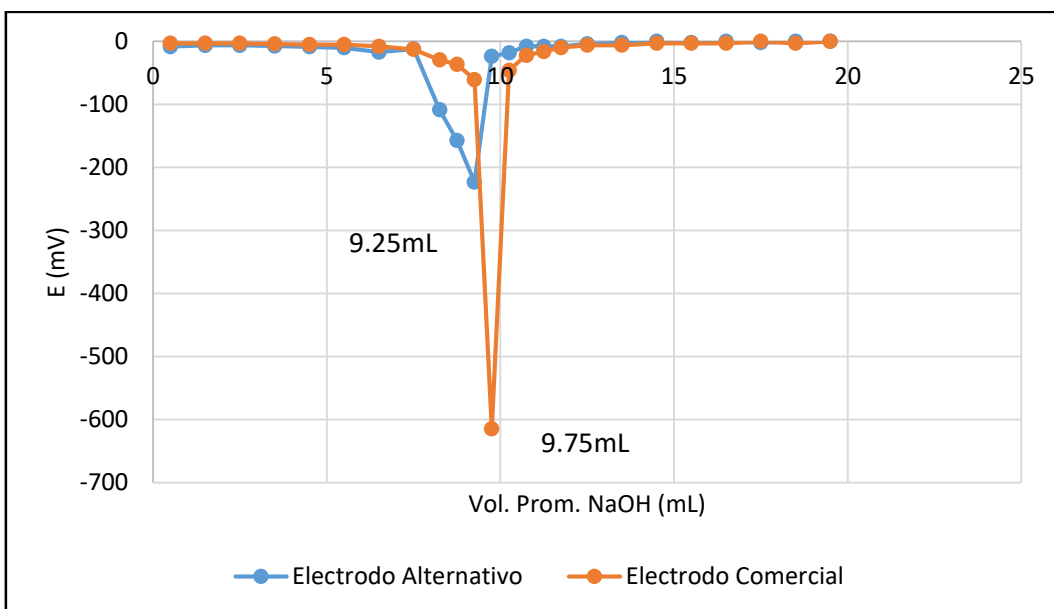


Gráfico 40. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #2 de 10 mL de HNO₃ 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

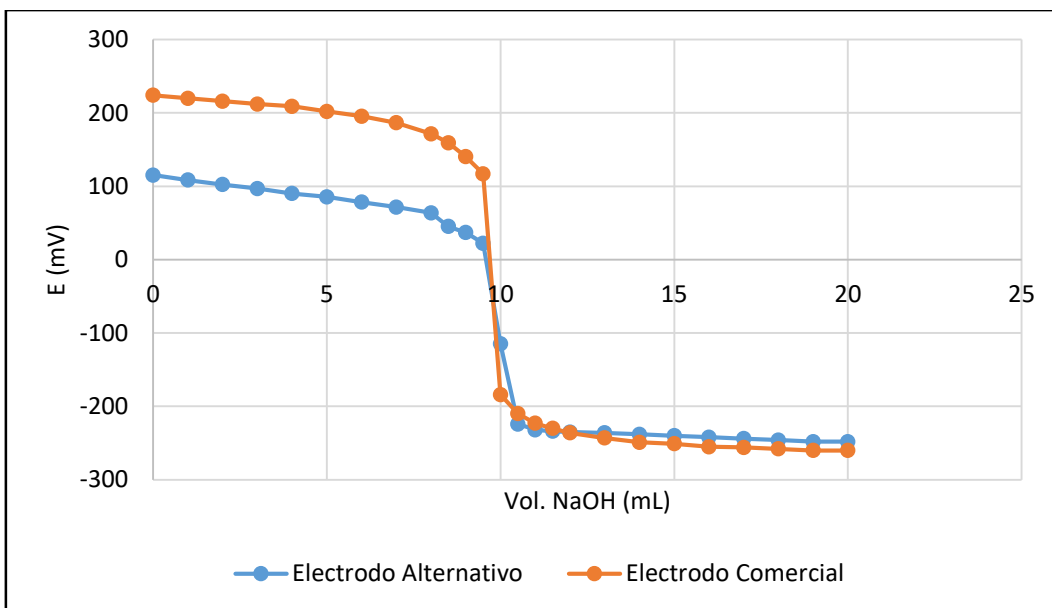


Gráfico 41. Curva de valoración #3 de 10 mL de HNO_3 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAl encapsulado y electrodo comercial.

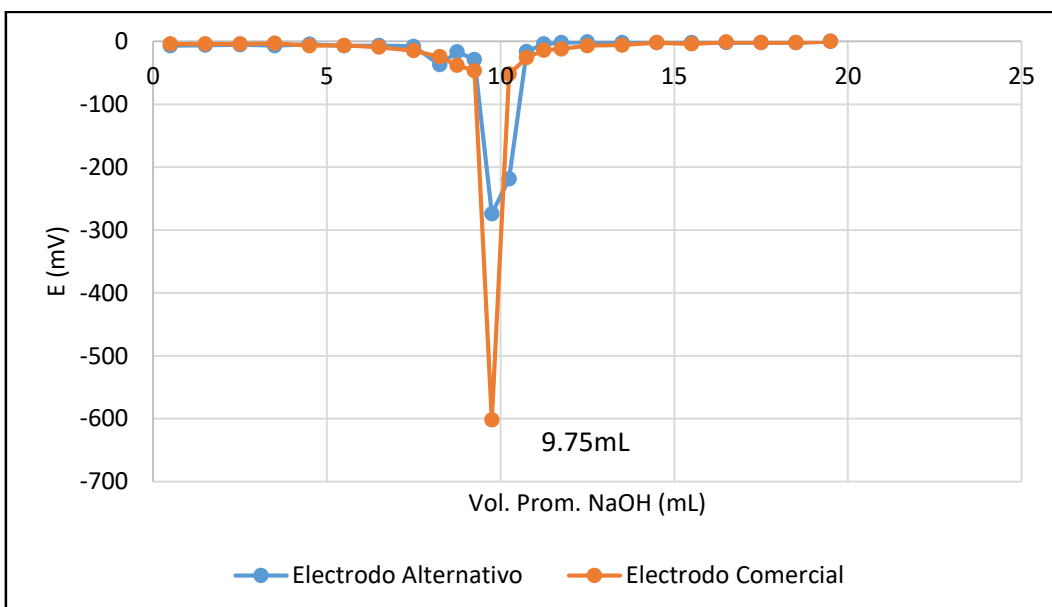


Gráfico 42. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #3 de 10 mL de HNO_3 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAl encapsulado y electrodo comercial.

➤ **Valoraciones de NaOH**

○ **Concentración 0.095M**

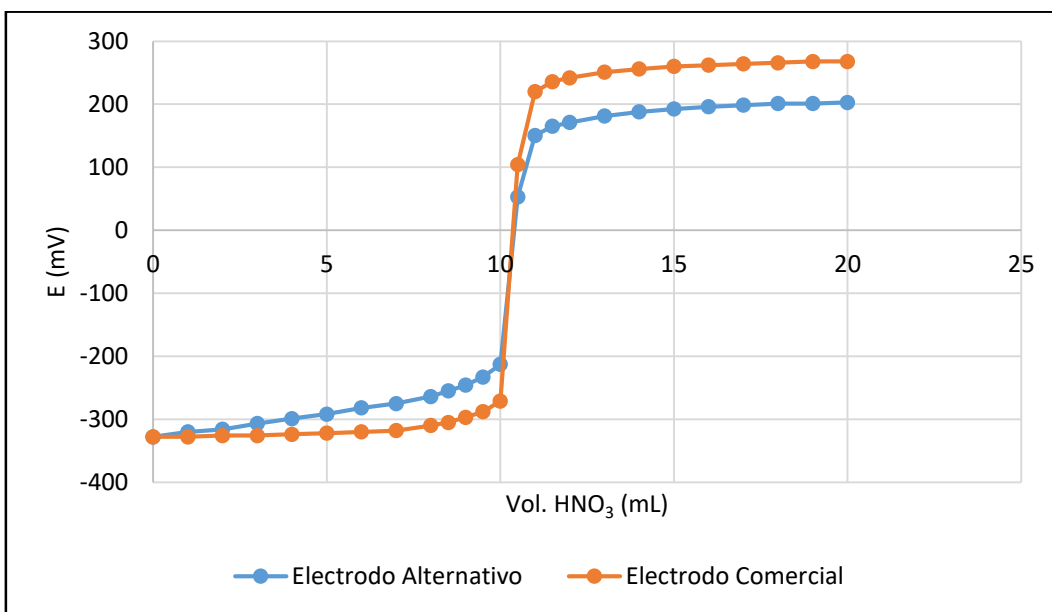


Gráfico 43. Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

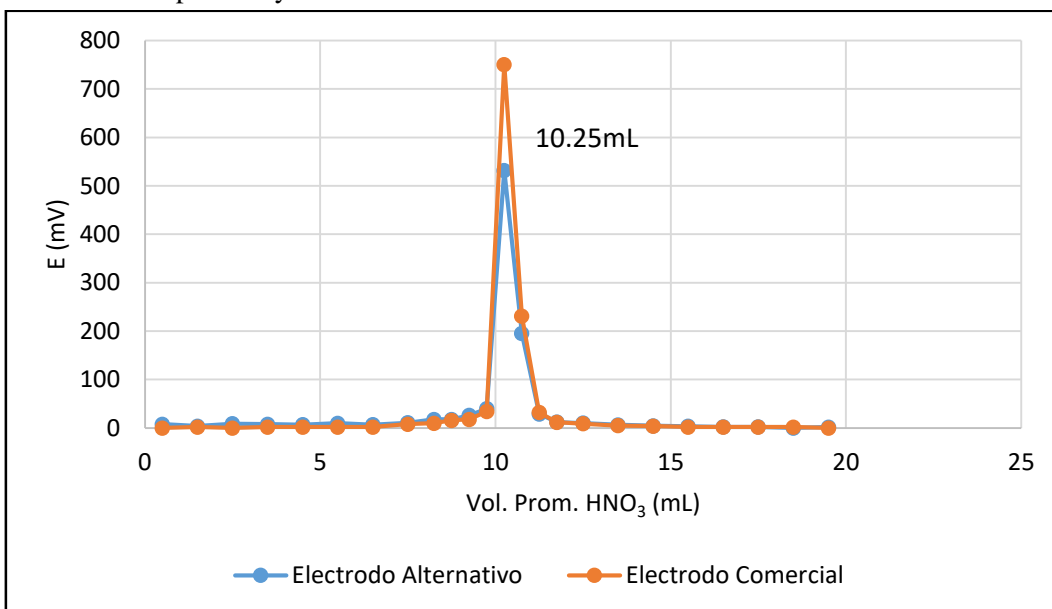


Gráfico 44. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

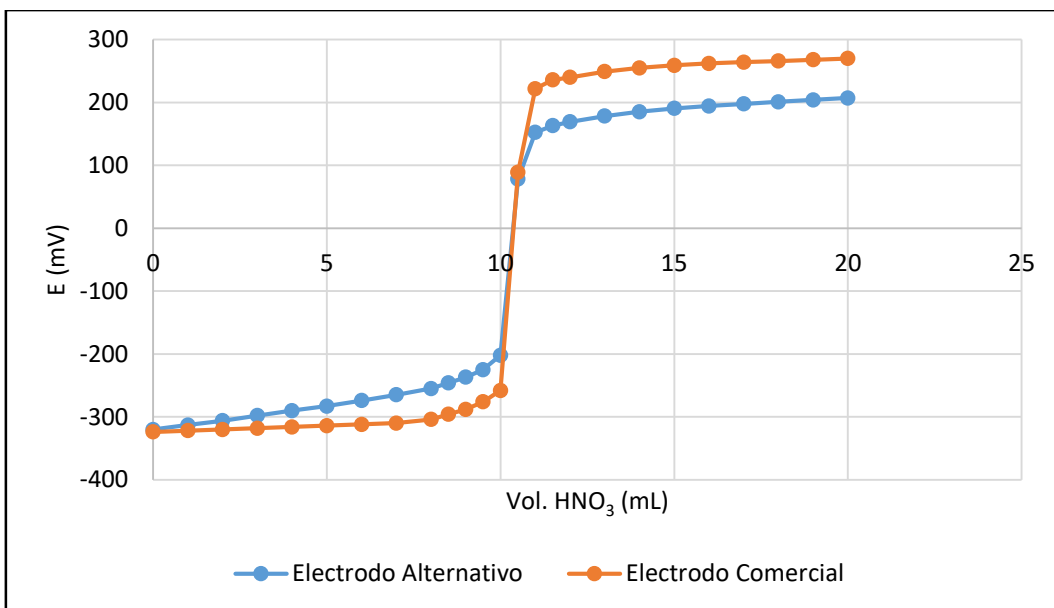


Gráfico 45. Curva de valoración #2 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

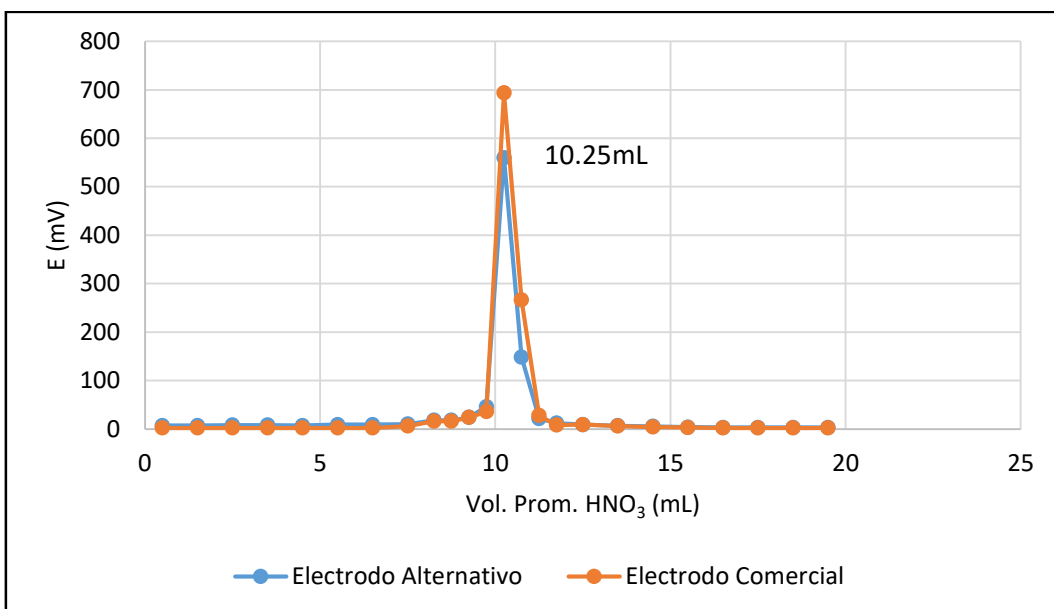


Gráfico 46. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #2 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

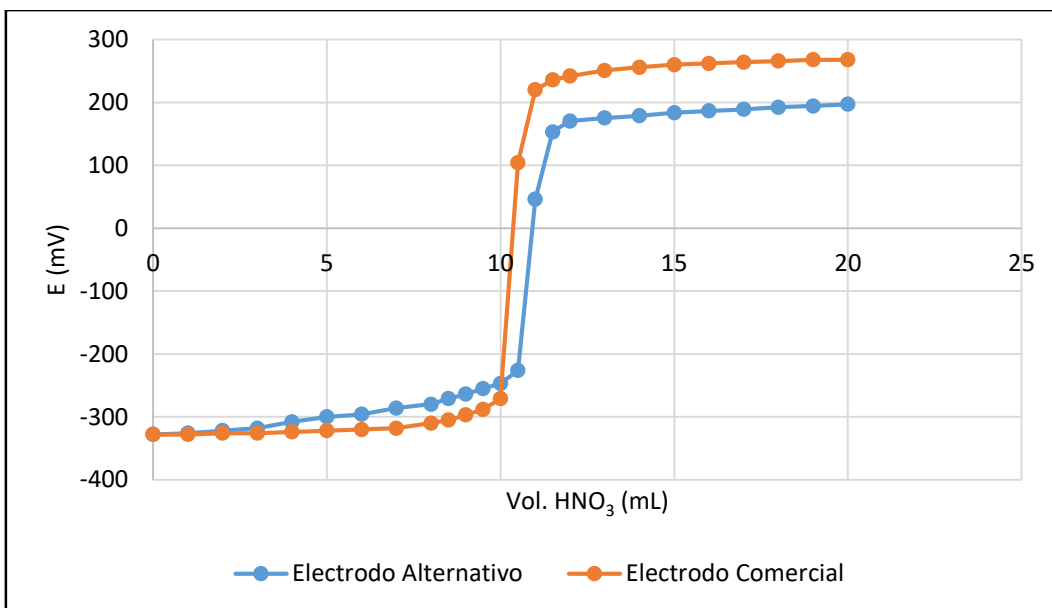


Gráfico 47. Curva de valoración #3 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

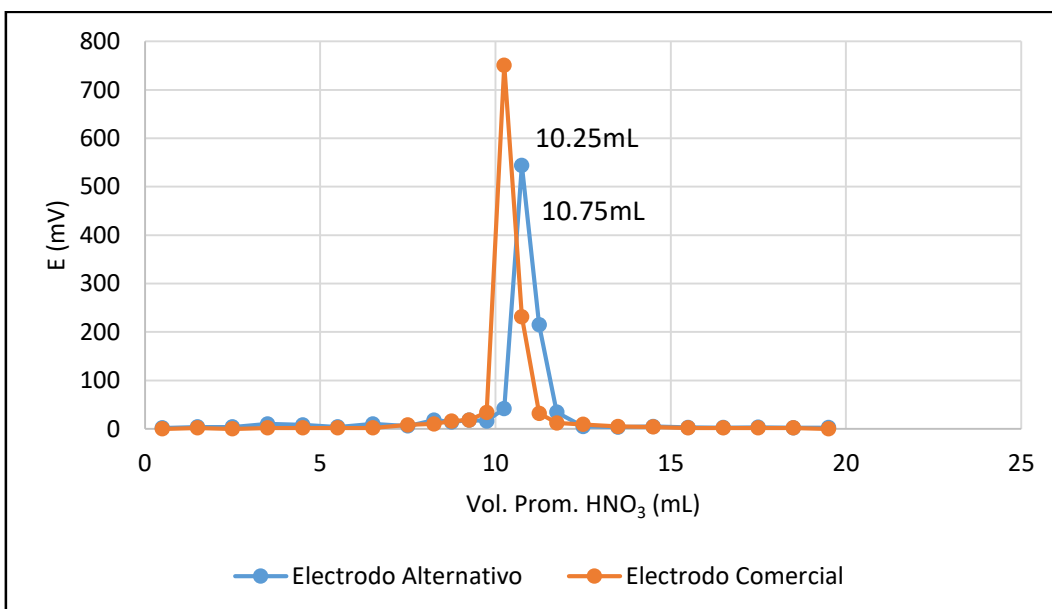


Gráfico 48. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #3 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

○ **Concentración 0.0095M**

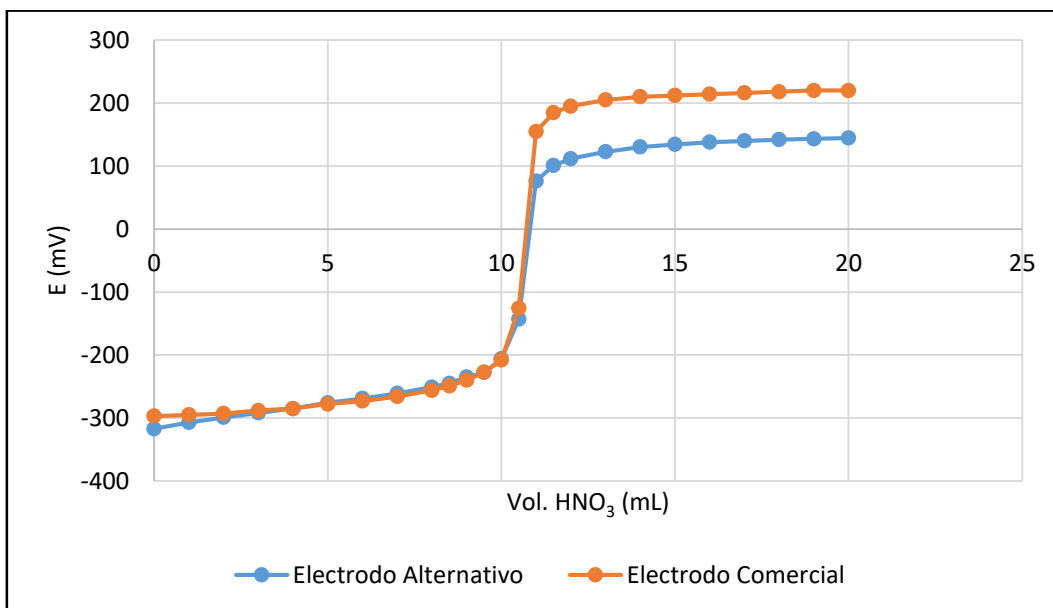


Gráfico 49. Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

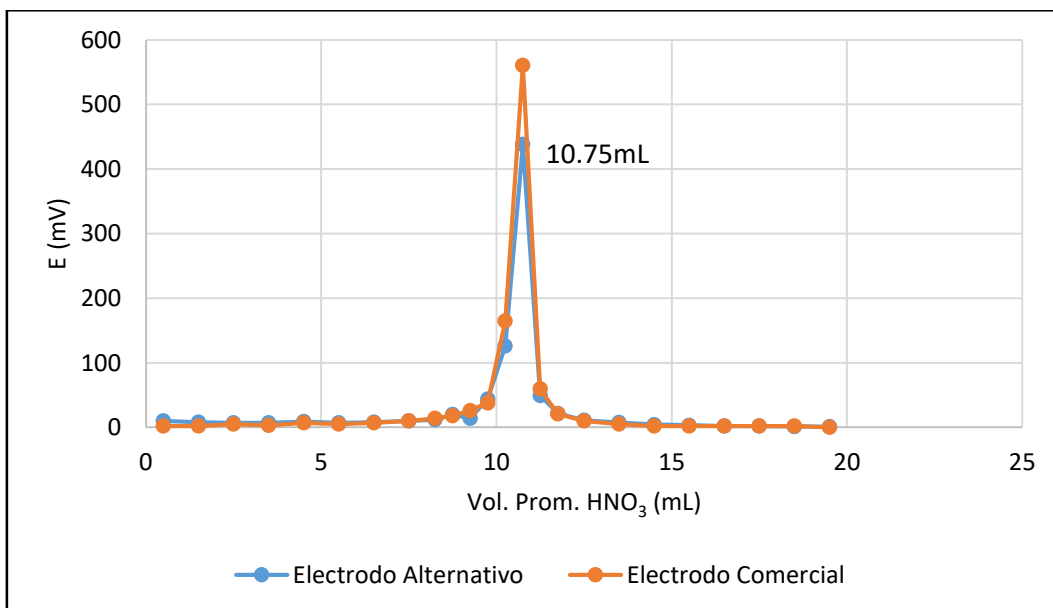


Gráfico 50. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

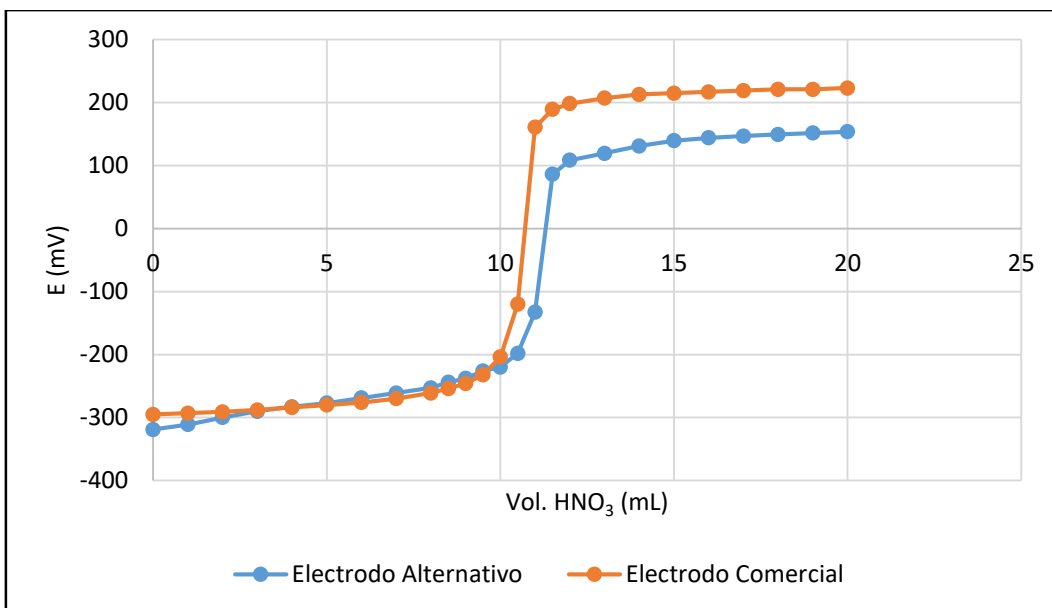


Gráfico 51. Curva de valoración #2 de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

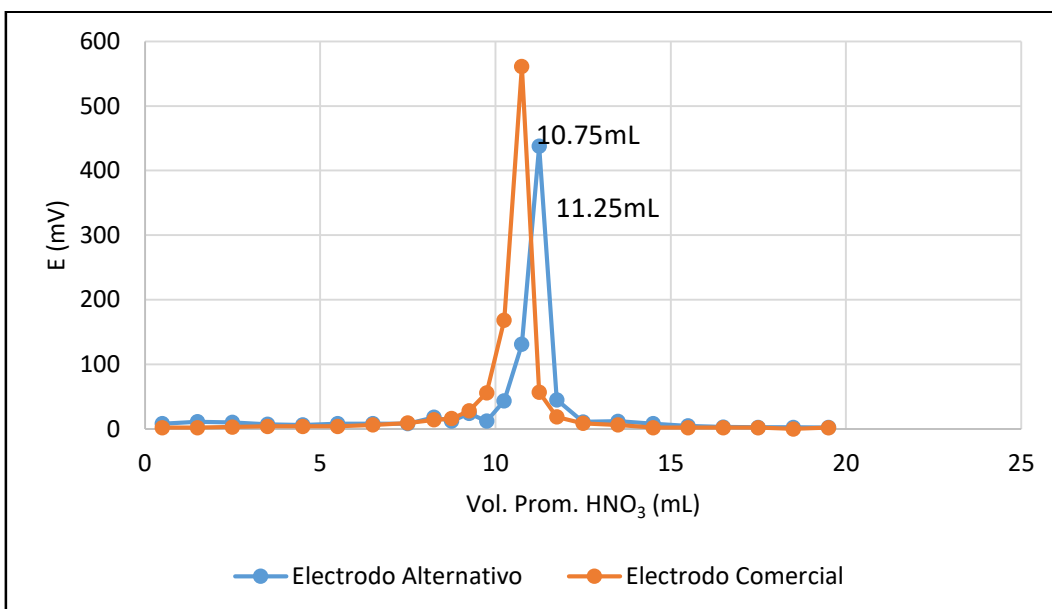


Gráfico 52. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #2 de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

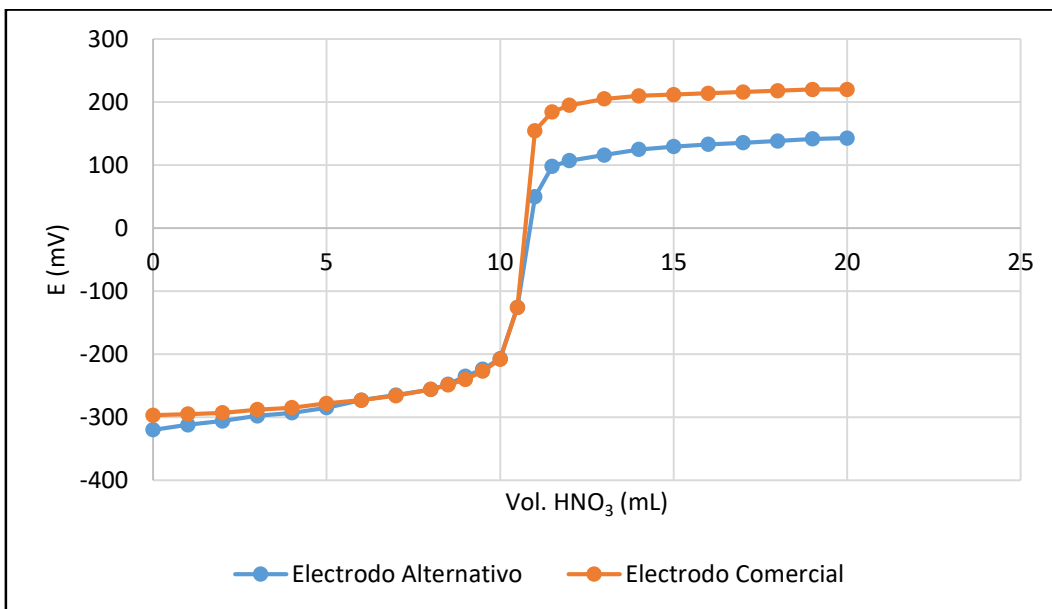


Gráfico 53. Curva de valoración #3 de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

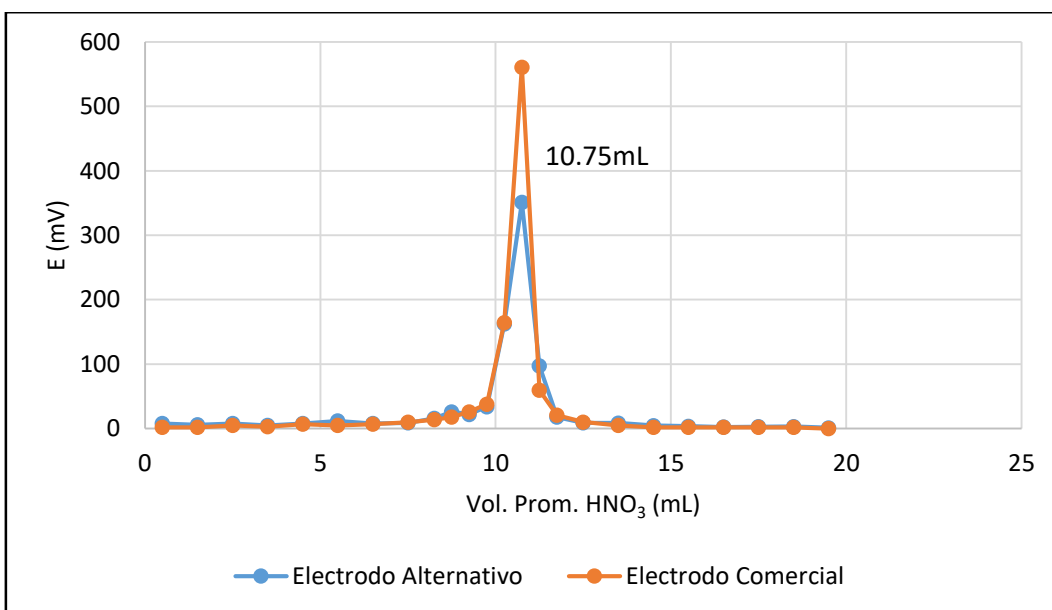


Gráfico 54. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #3 de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

○ **Concentración 0.0055M**

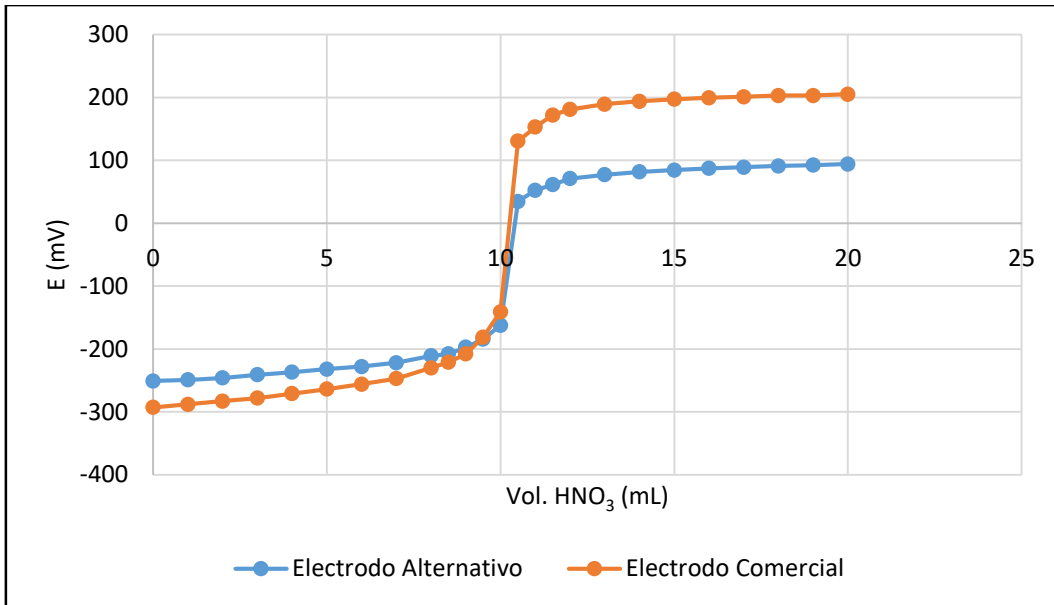


Gráfico 55. Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

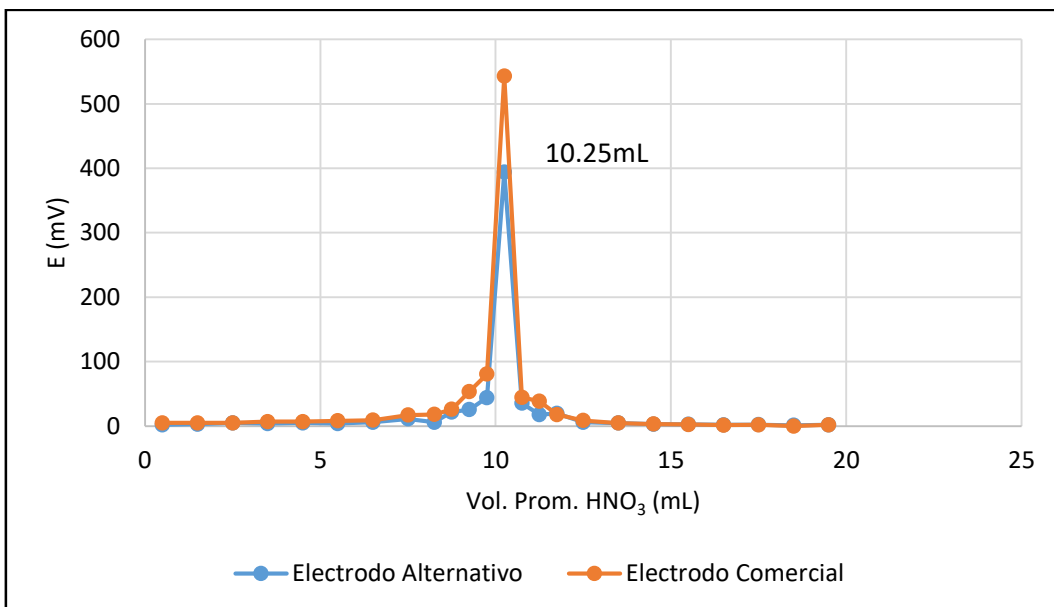


Gráfico 56. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

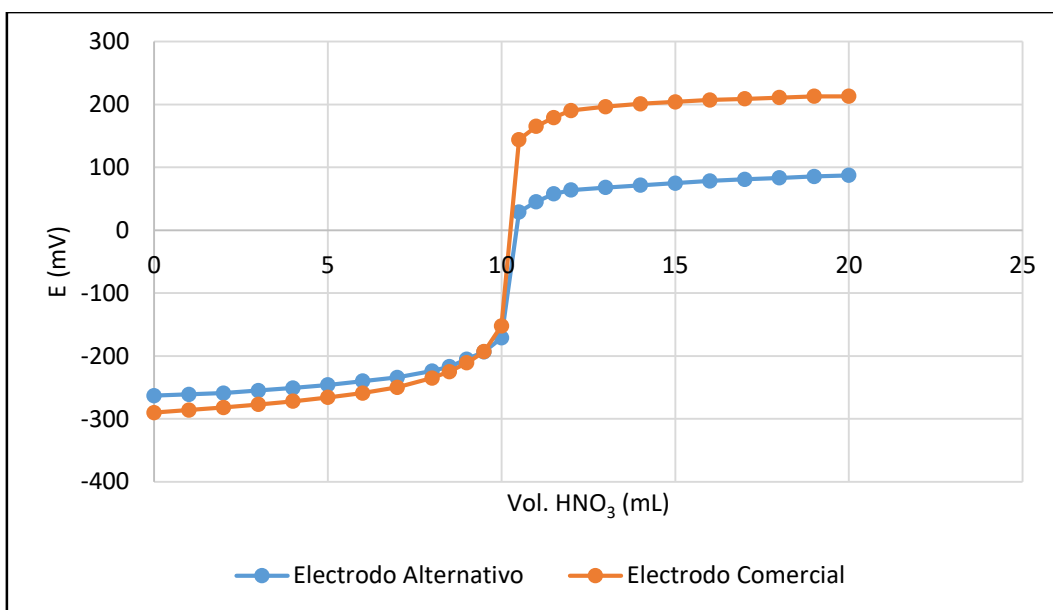


Gráfico 57. Curva de valoración #2 de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

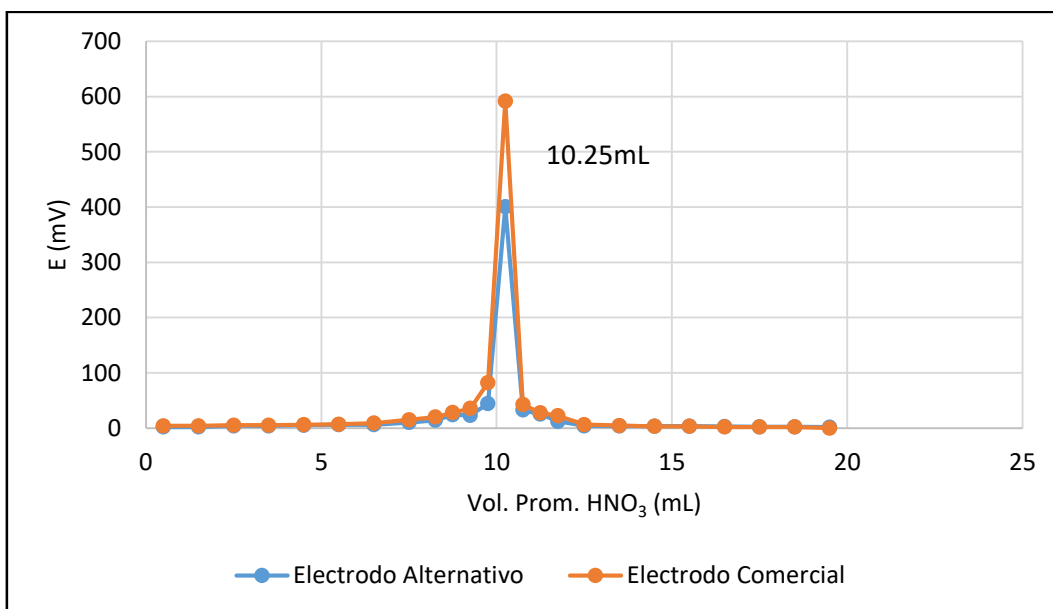


Gráfico 58. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #2 de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

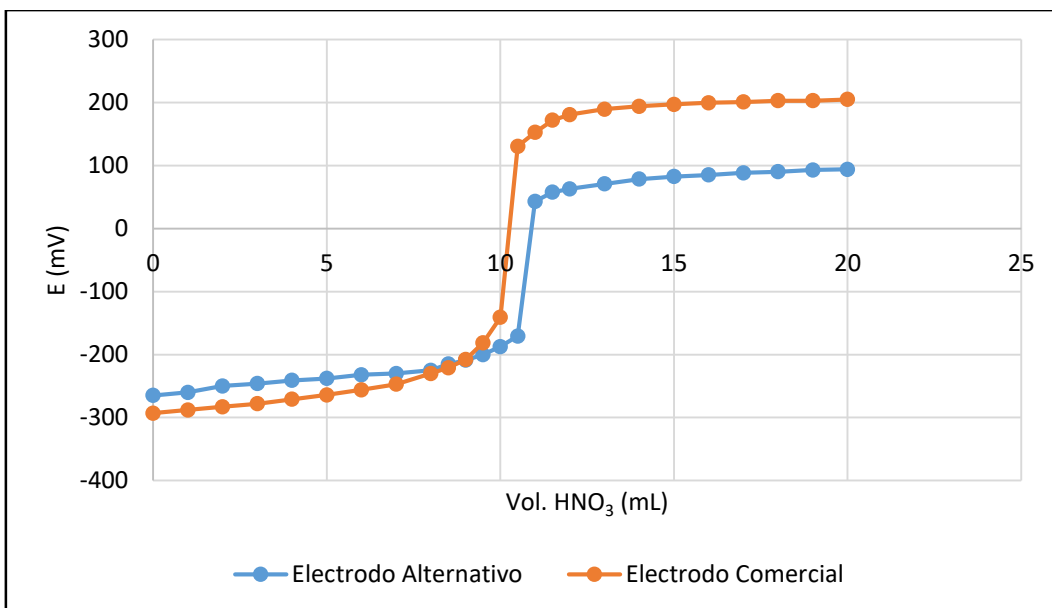


Gráfico 59. Curva de valoración #3 de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

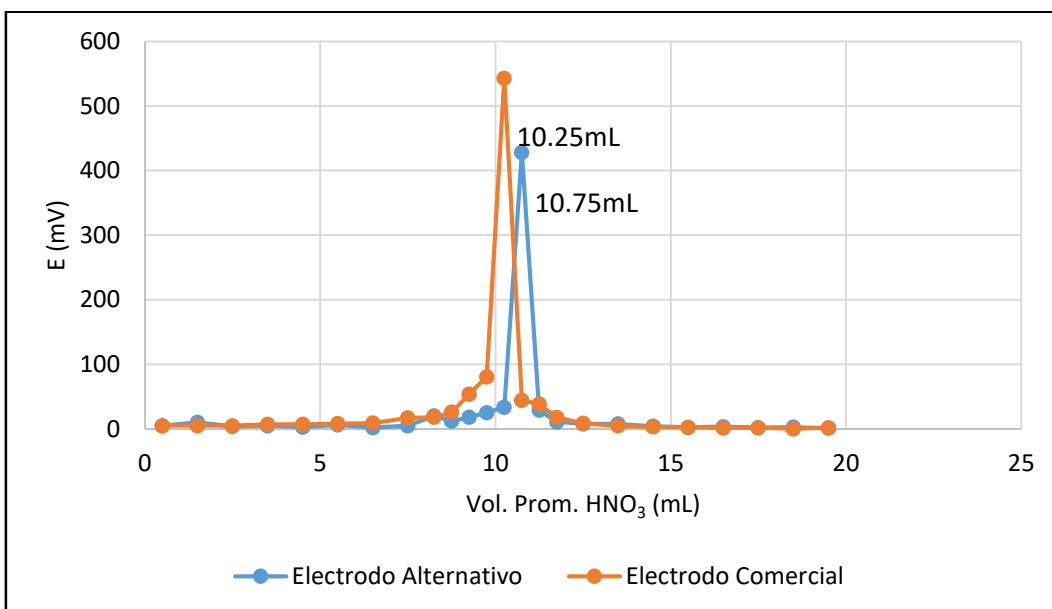


Gráfico 60. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #3 de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 1 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

ANEXO VI

Valoraciones del electrodo 2 Encapsulado

- Valoraciones de HNO_3
 - Concentración 0.0862 M

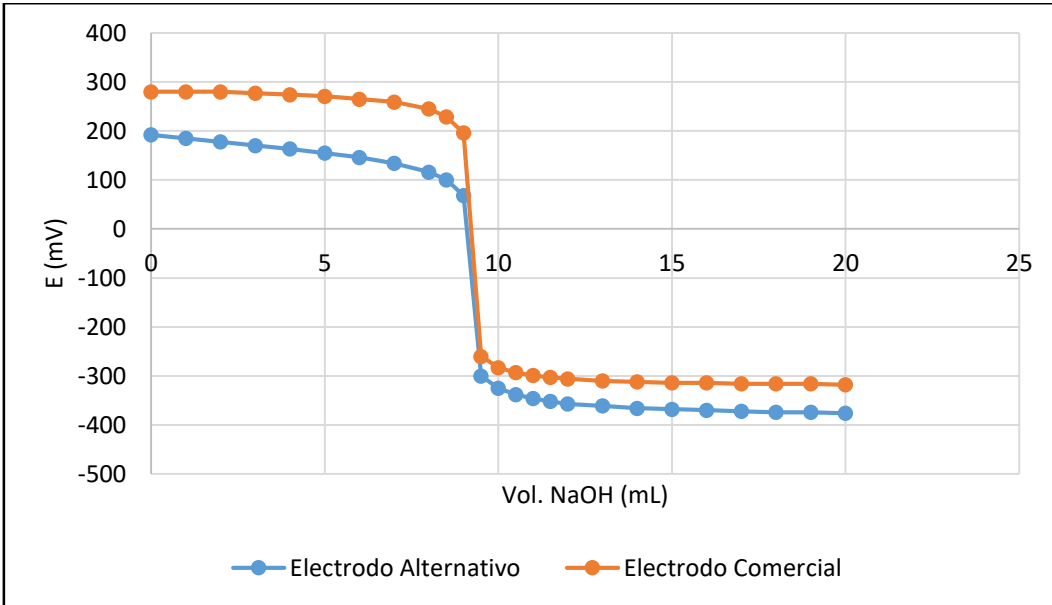


Gráfico 61. Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO_3 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

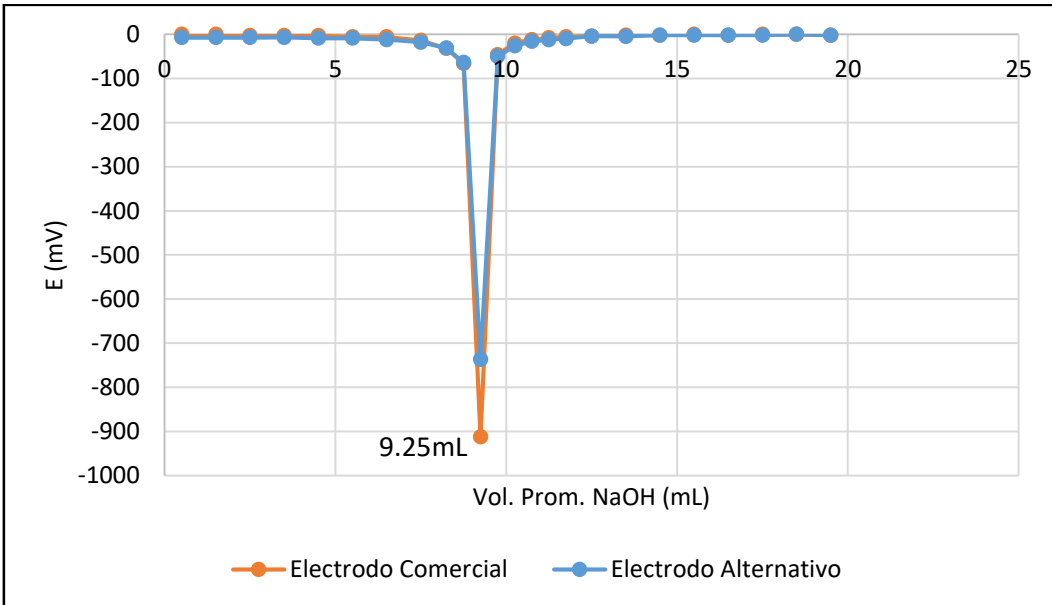


Gráfico 62. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO_3 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

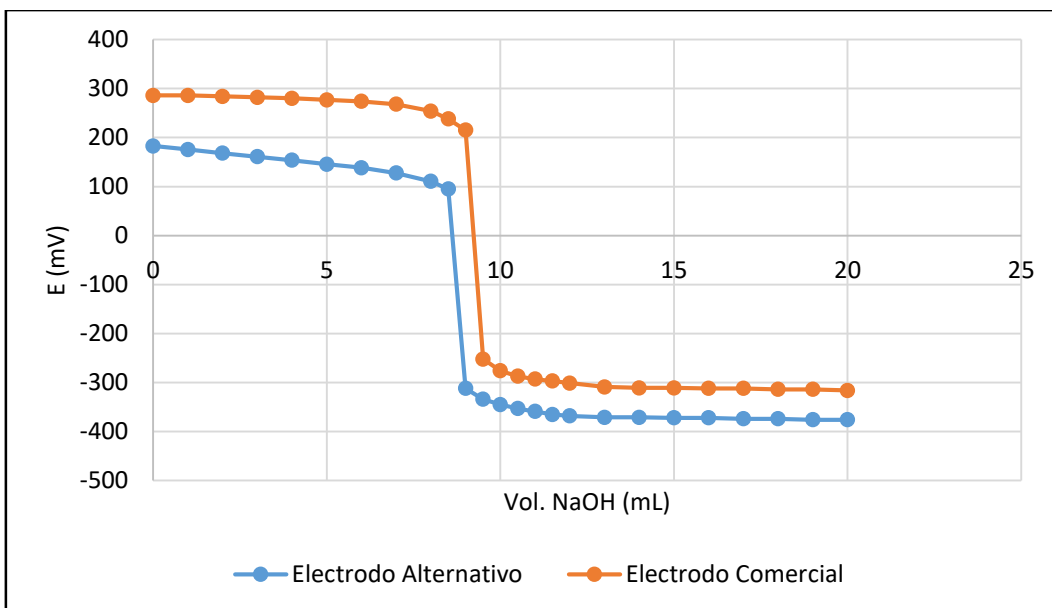


Gráfico 63. Curva de valoración #2 de 10 mL de HNO_3 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

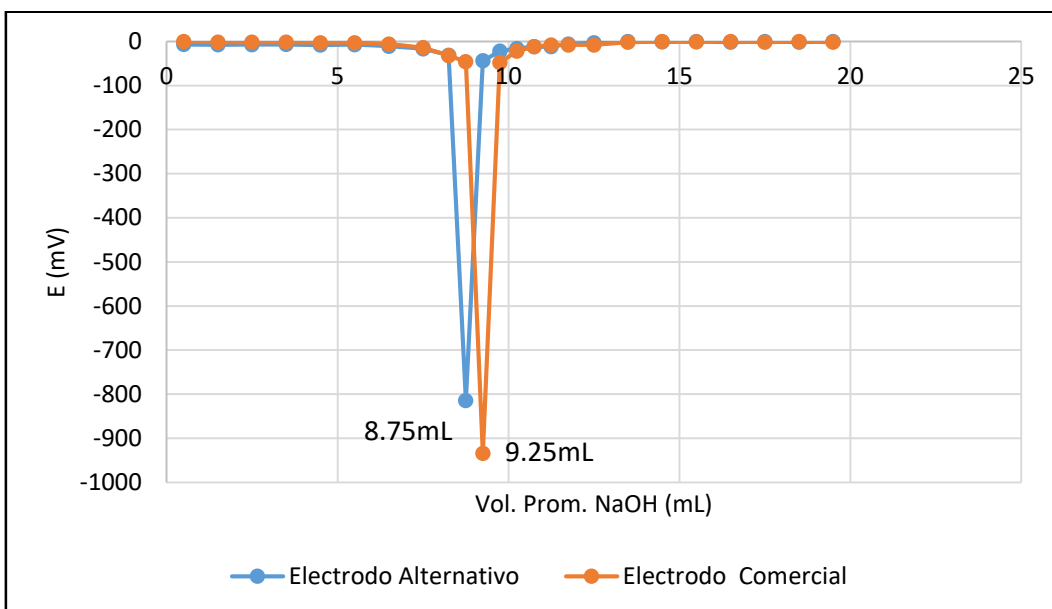


Gráfico 64. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #2 de 10 mL de HNO_3 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

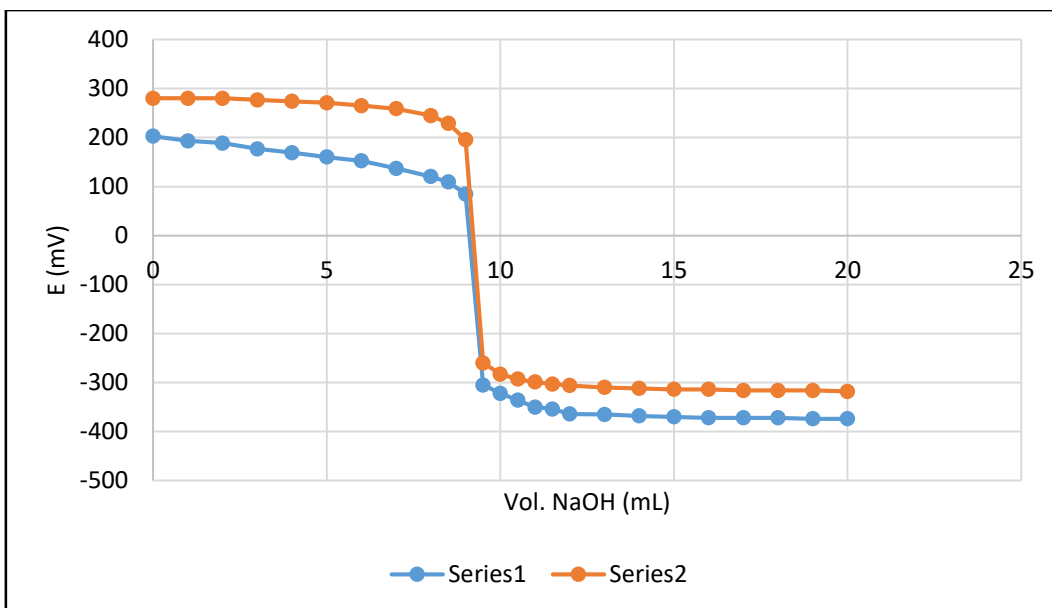


Gráfico 65. Curva de valoración #3 de 10 mL de HNO_3 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

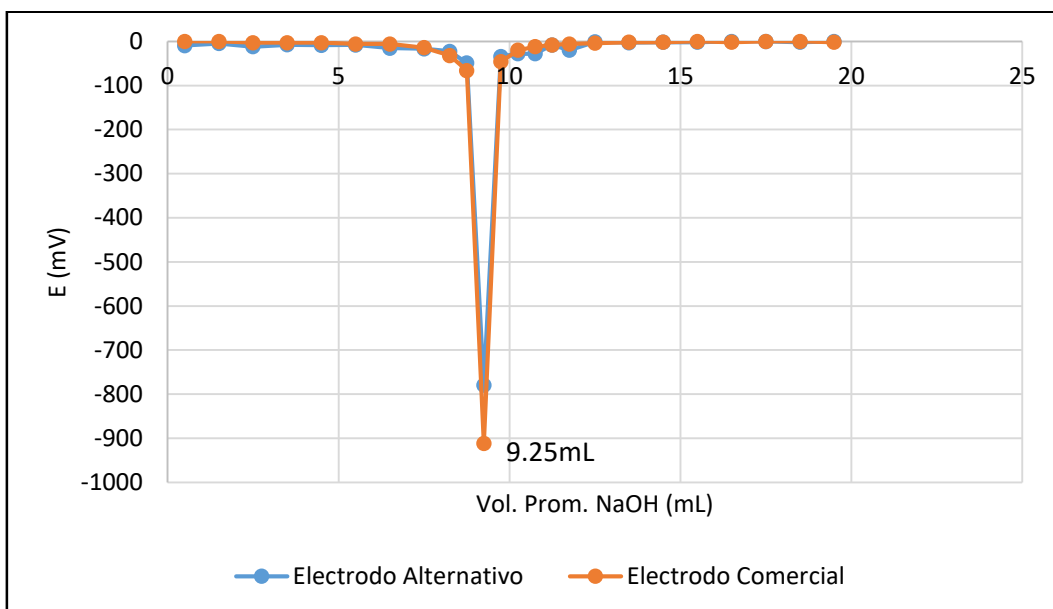


Gráfico 66. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #3 de 10 mL de HNO_3 0.0862 M empleando como valorante NaOH 0.095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

○ **Concentración 0.00862 M**

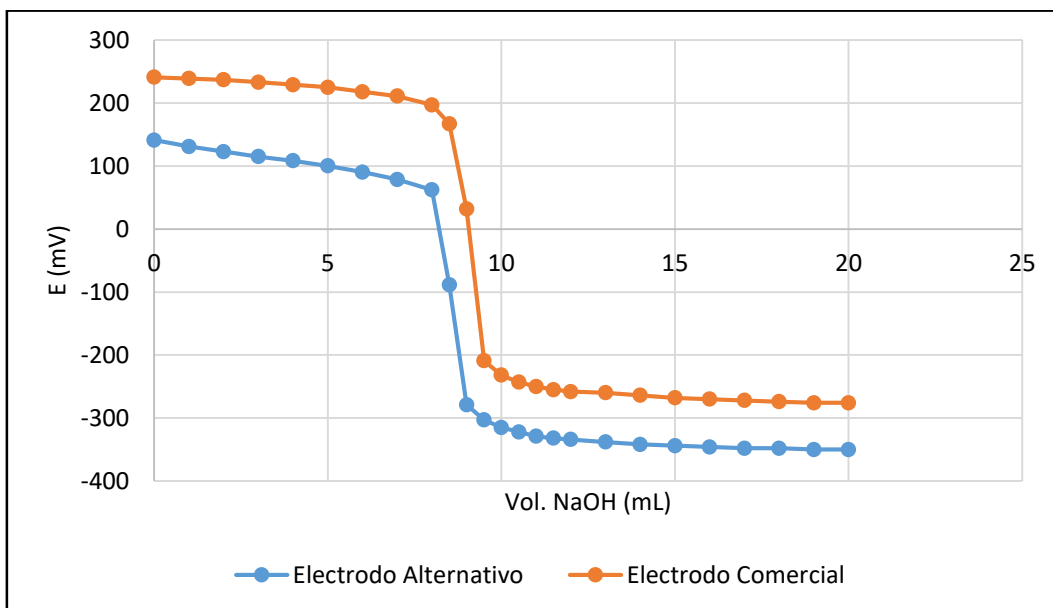


Gráfico 67. Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO₃ 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

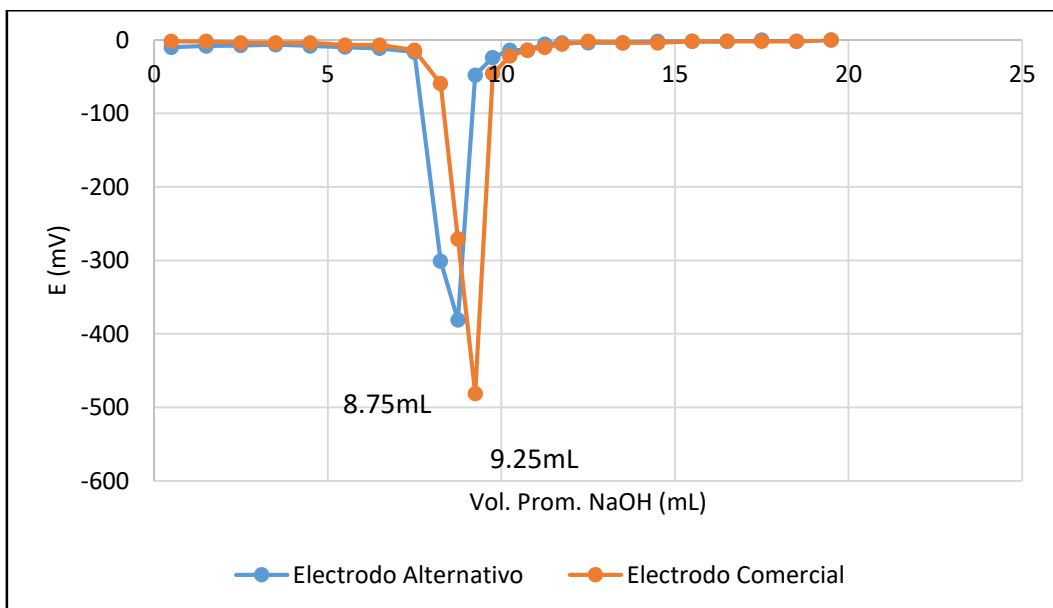


Gráfico 68. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO₃ 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

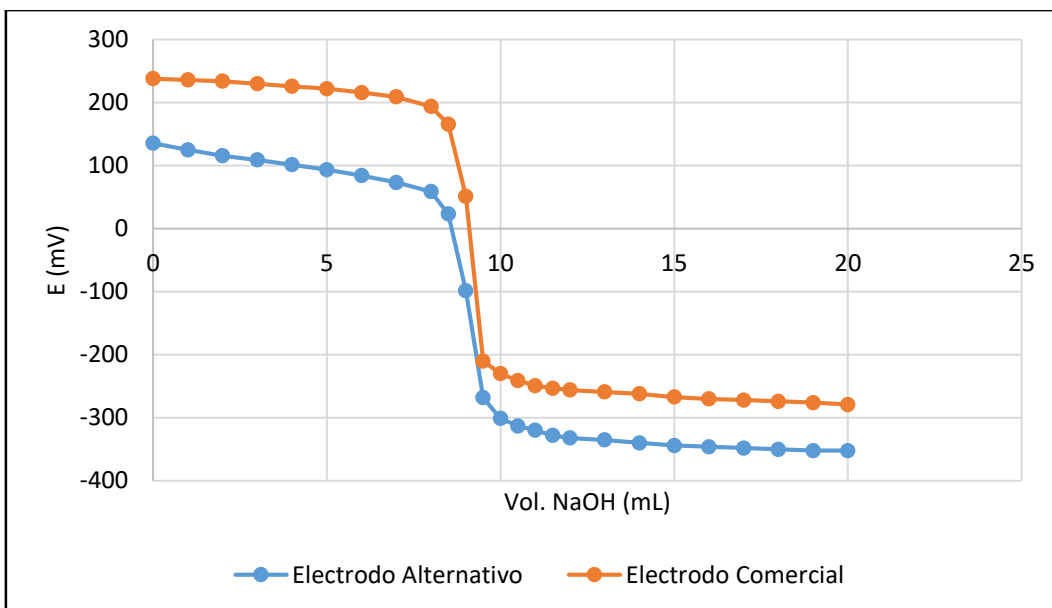


Gráfico 69. Curva de valoración #2 de 10 mL de HNO₃ 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

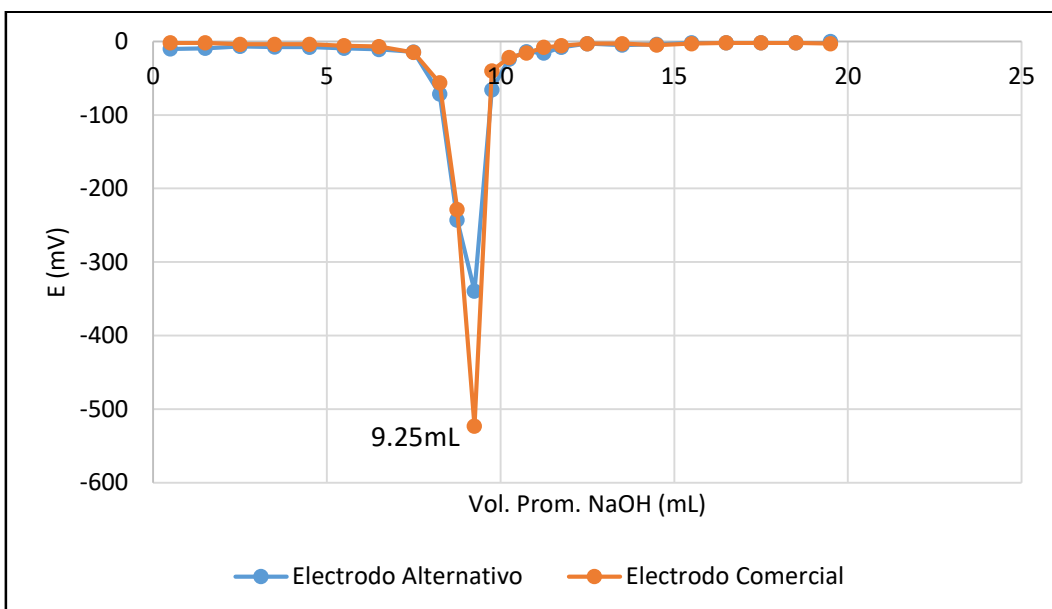


Gráfico 70. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #2 de 10 mL de HNO₃ 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

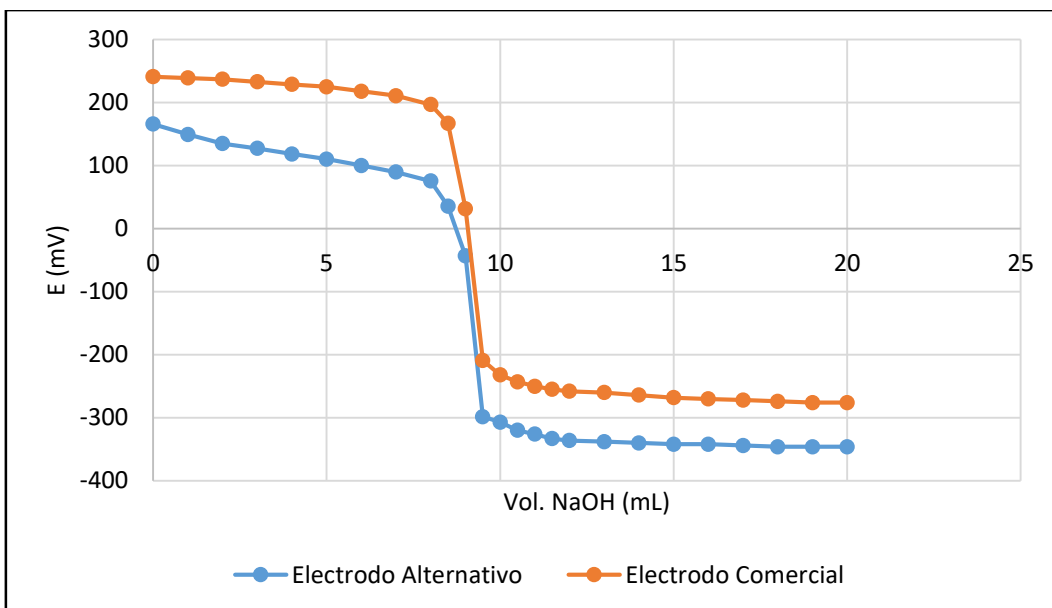


Gráfico 71. Curva de valoración #3 de 10 mL de HNO₃ 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

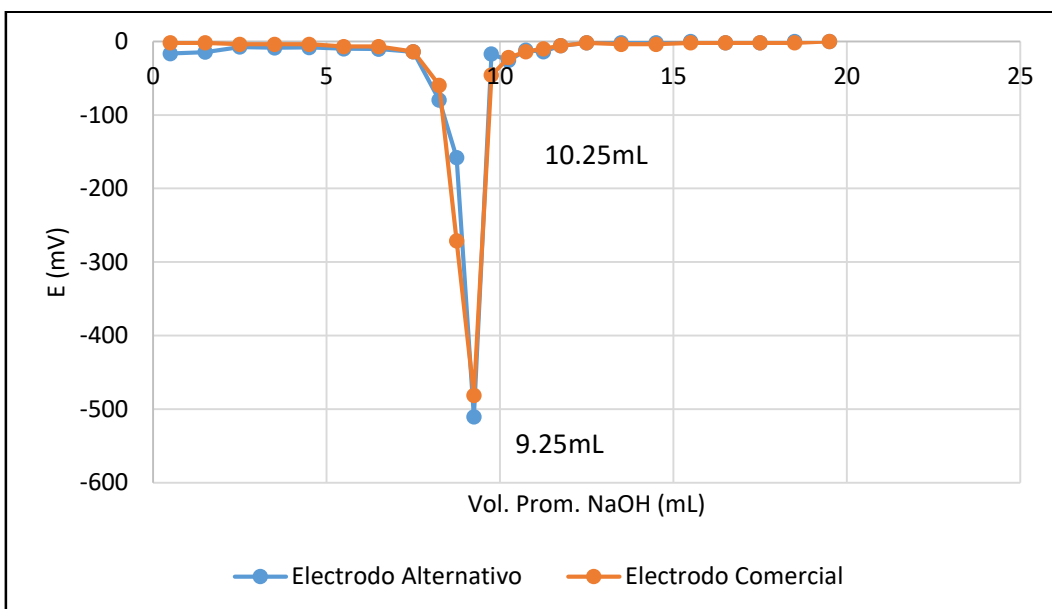


Gráfico 72. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #3 de 10 mL de HNO₃ 0.00862 M empleando como valorante NaOH 0.0095 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

○ **Concentración 0.053 M**

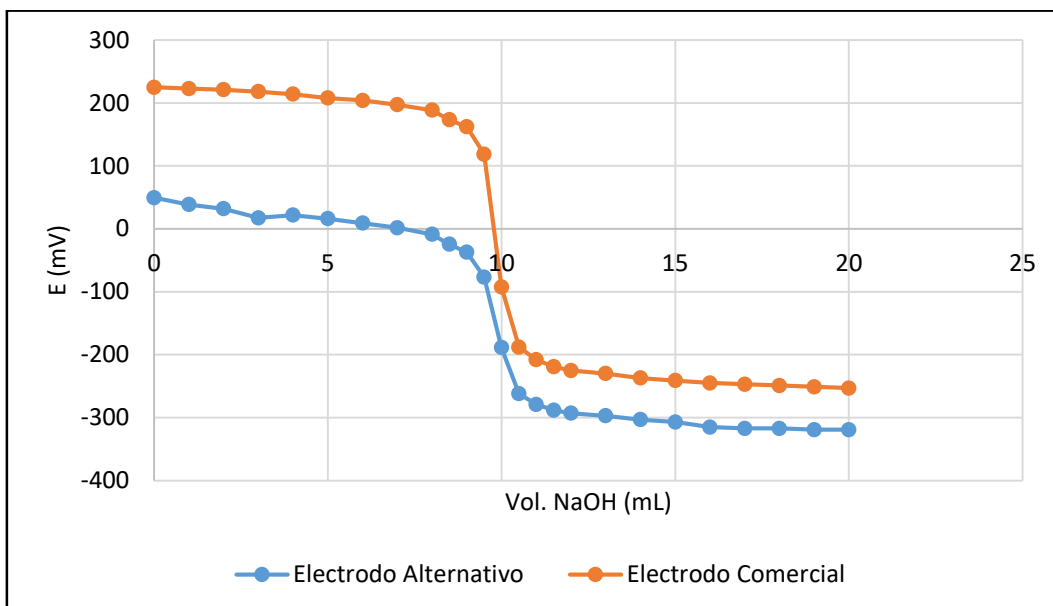


Gráfico 73. Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO₃ 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

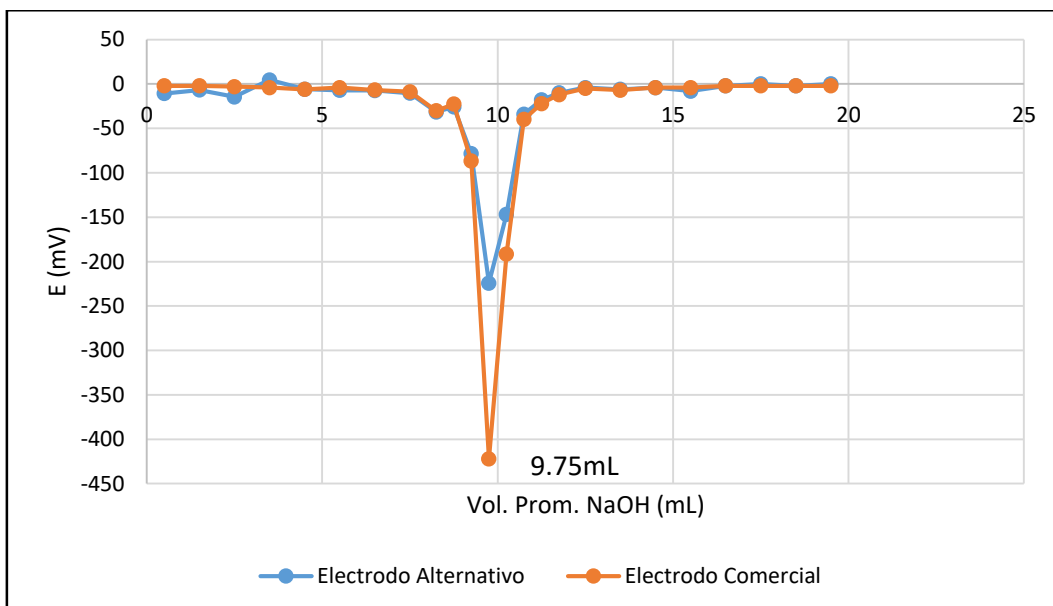


Gráfico 74. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de HNO₃ 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

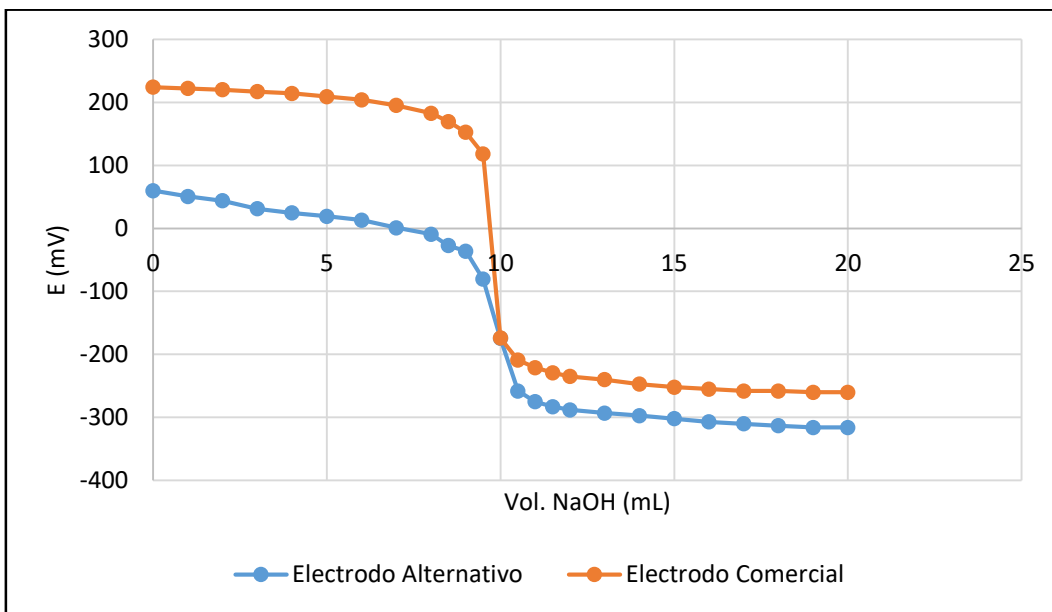


Gráfico 75. Curva de valoración #2 de 10 mL de HNO_3 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial

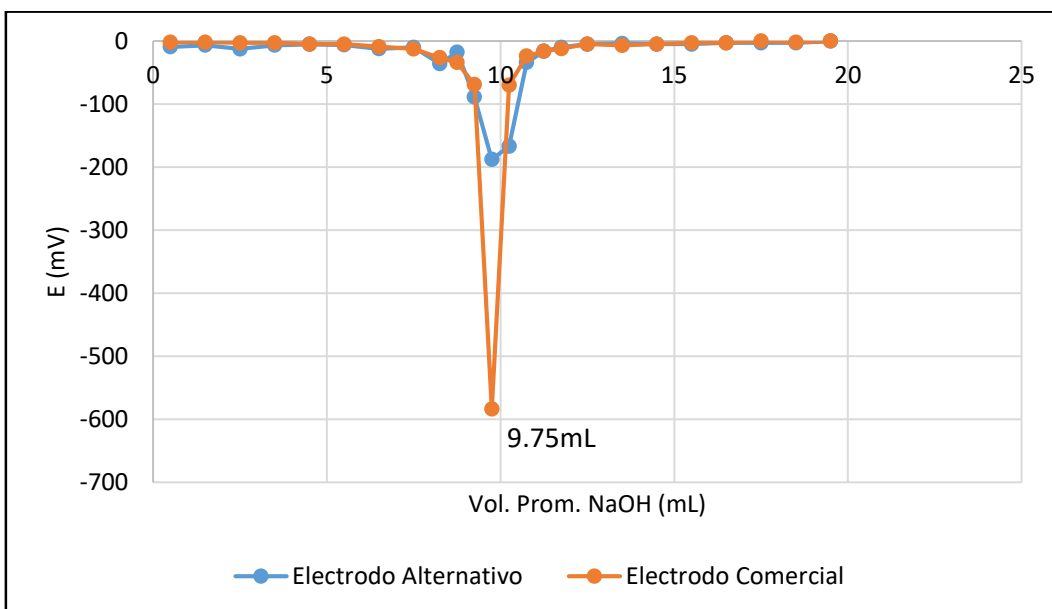


Gráfico 76. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #2 de 10 mL de HNO_3 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

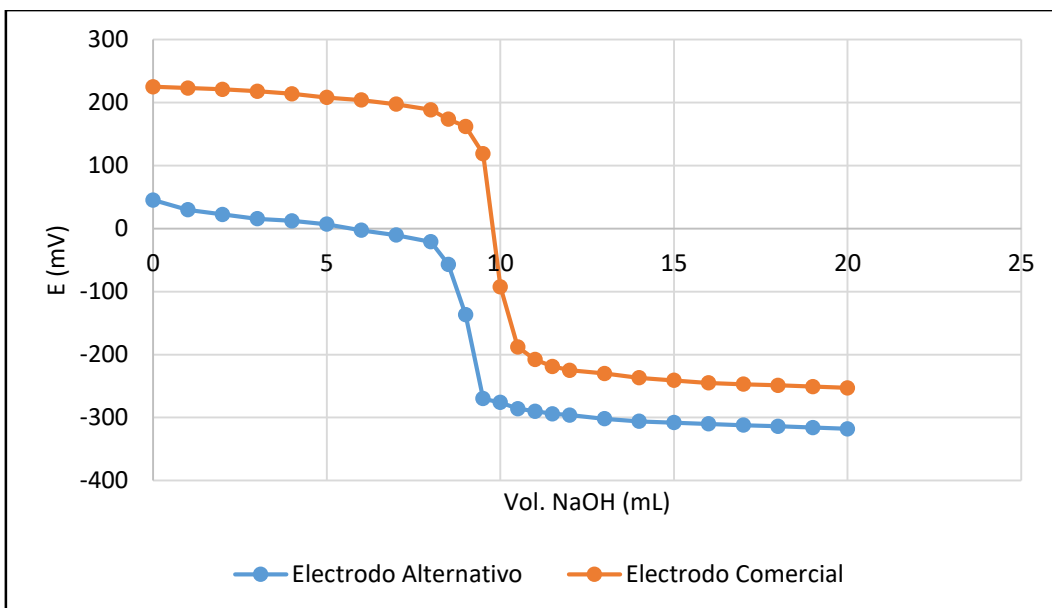


Gráfico 77. Curva de valoración #3 de 10 mL de HNO₃ 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

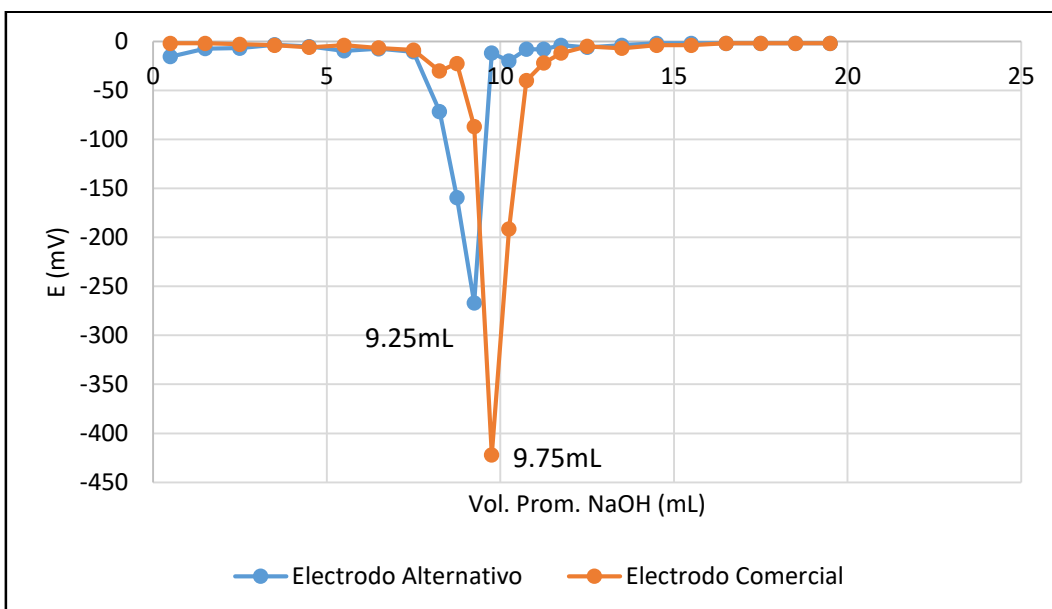


Gráfico 78. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #3 de 10 mL de HNO₃ 0.0053 M empleando como valorante NaOH 0.0055 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

➤ **Valoraciones de NaOH**
 ○ **Concentración 0.095M**

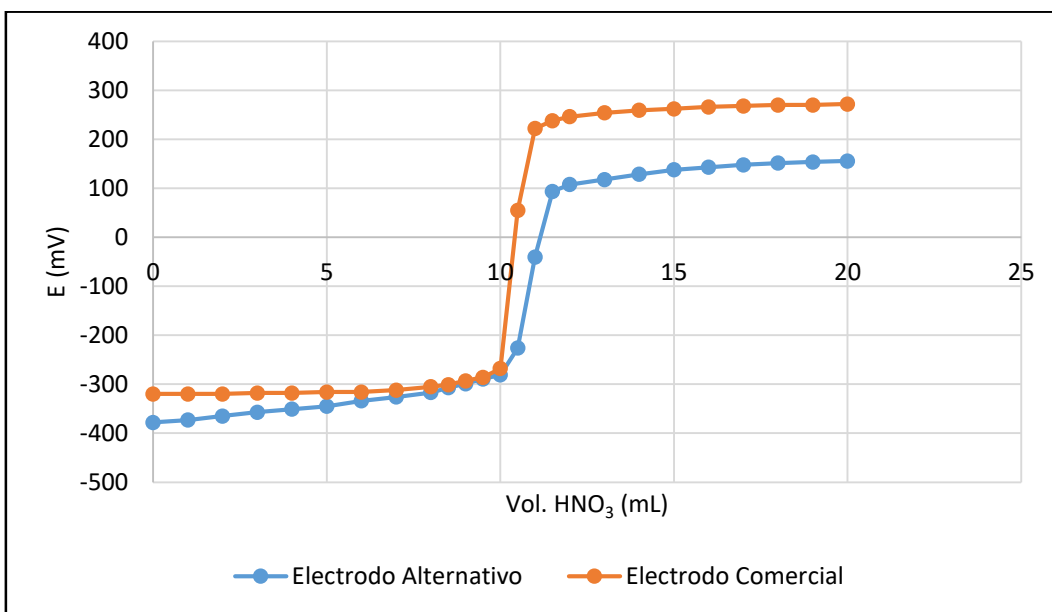


Gráfico 79. Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

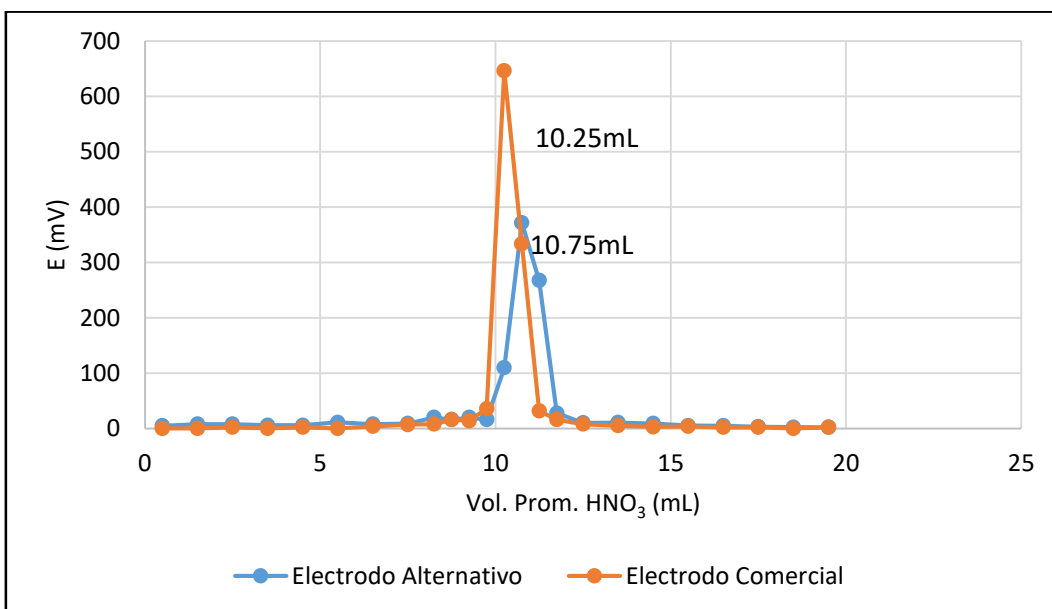


Gráfico 80. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

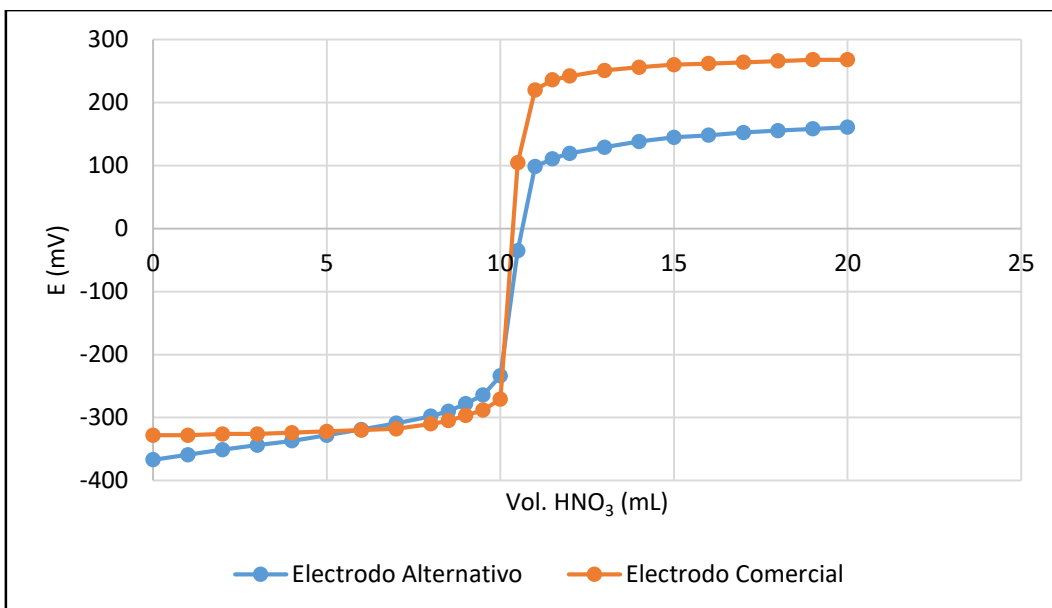


Gráfico 81. Curva de valoración #2 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial

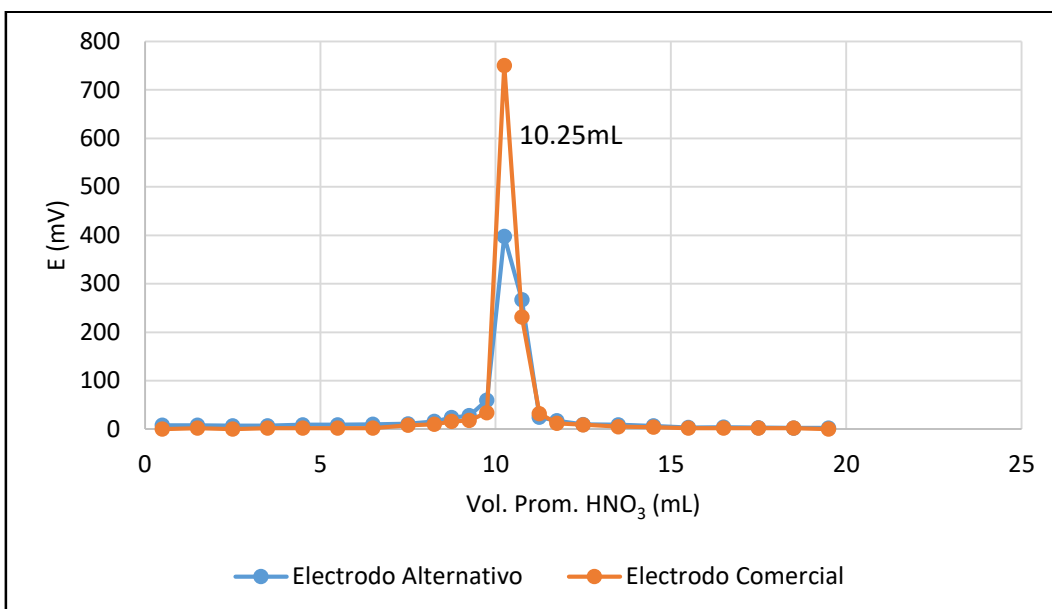


Gráfico 82. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #2 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial

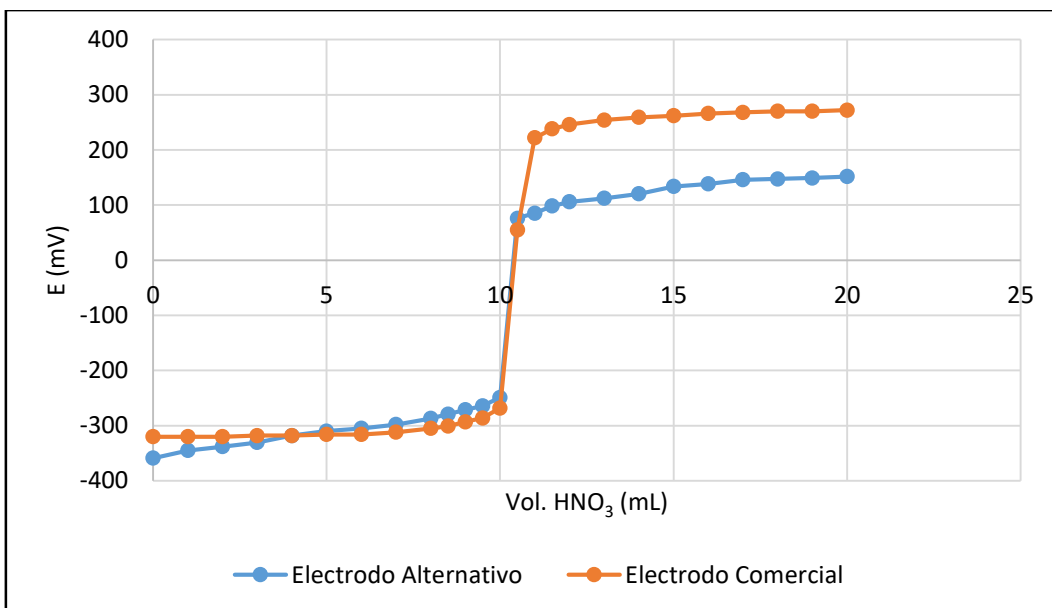


Gráfico 83. Curva de valoración #3 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial

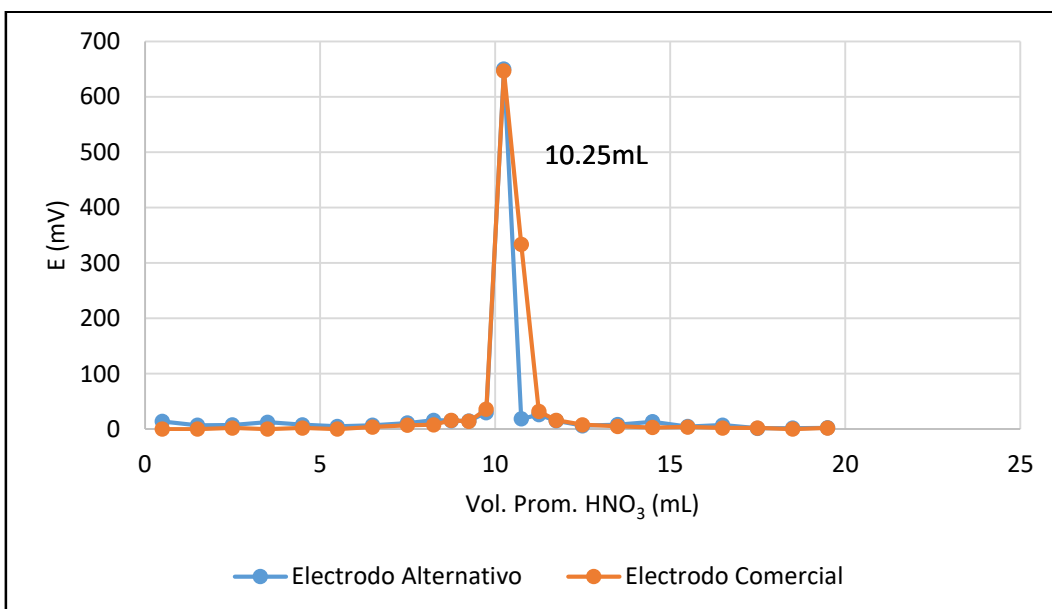


Gráfico 84. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #3 de 10 mL de NaOH 0.095 M empleando como valorante HNO₃ 0.0862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial

○ **Concentración 0.0095M**

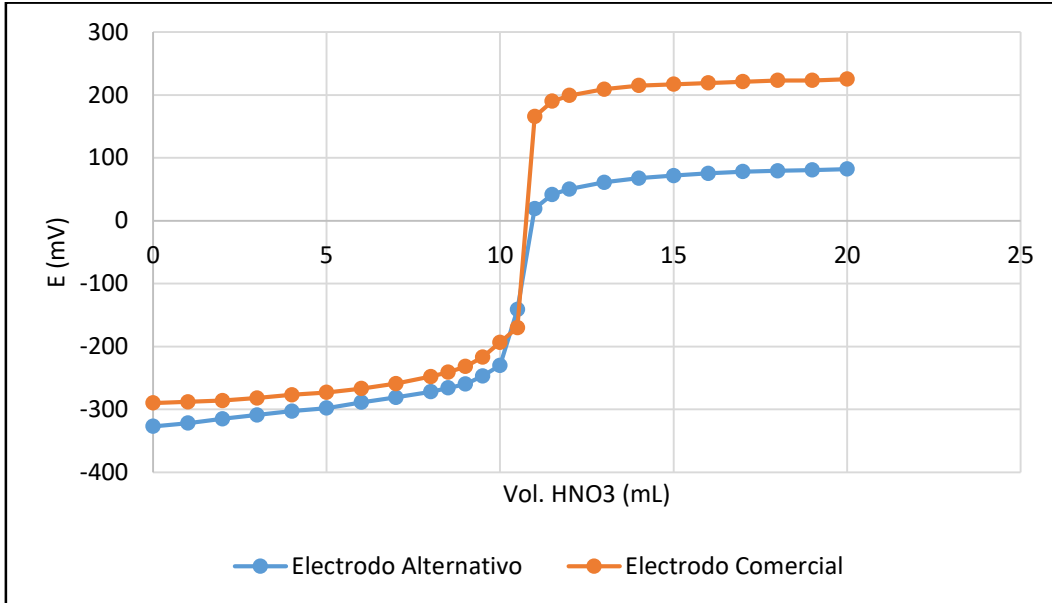


Gráfico 85. Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial

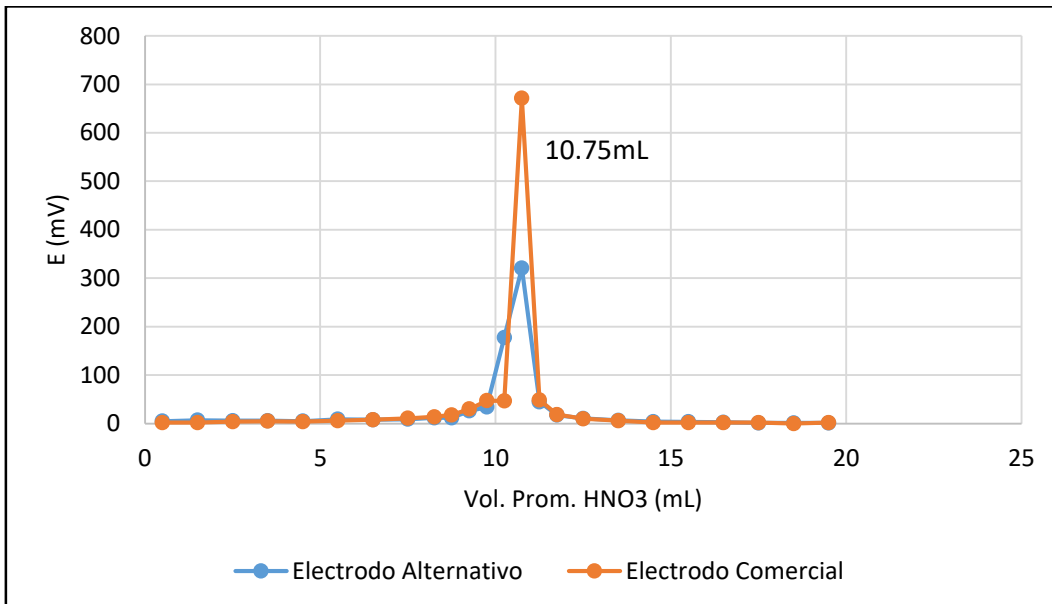


Gráfico 86. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial

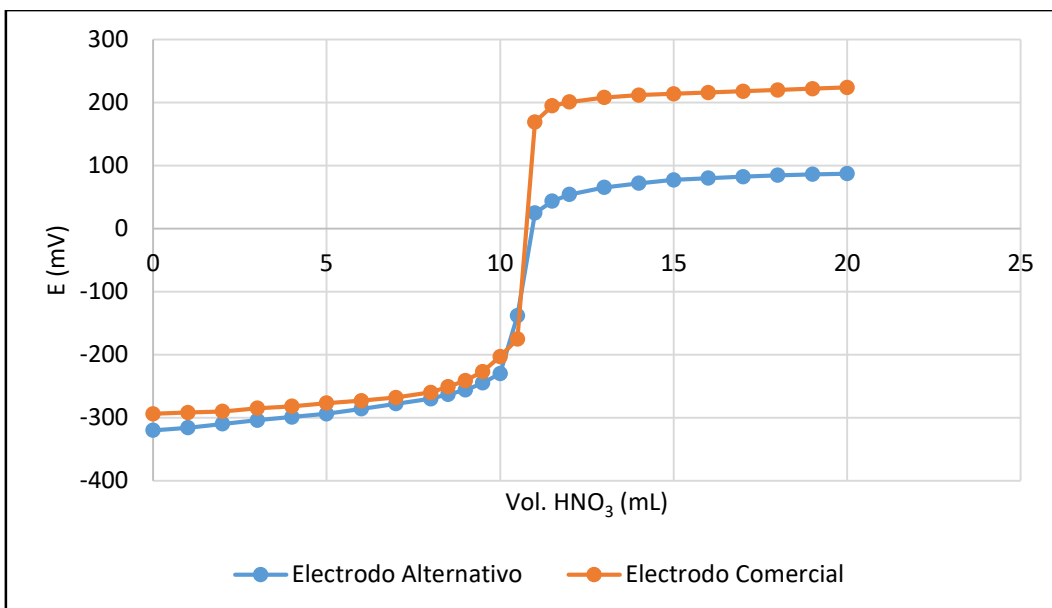


Gráfico 87. Curva de valoración #2 de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

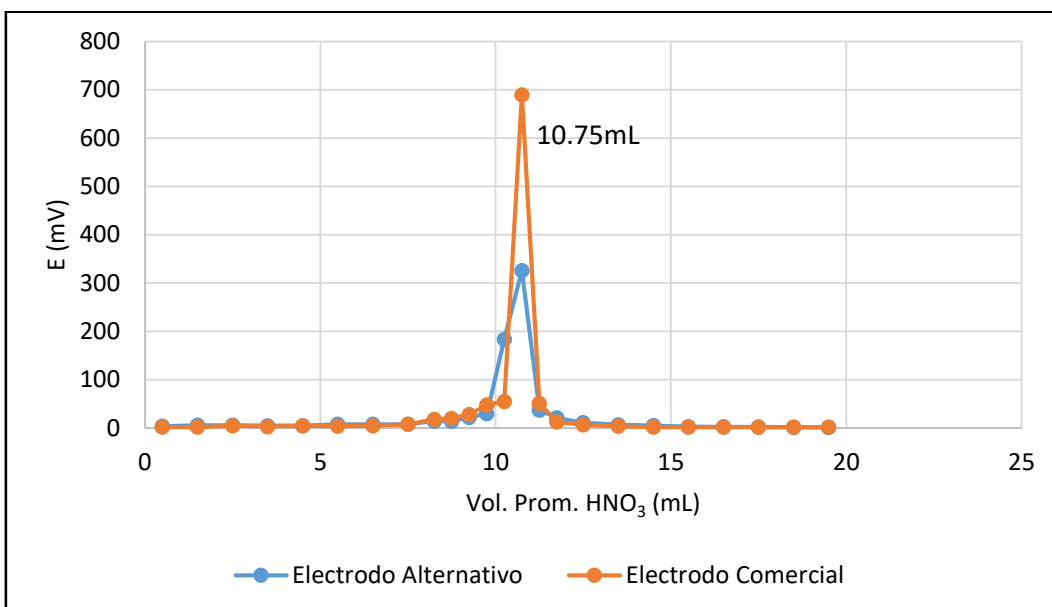


Gráfico 88. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #2 de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

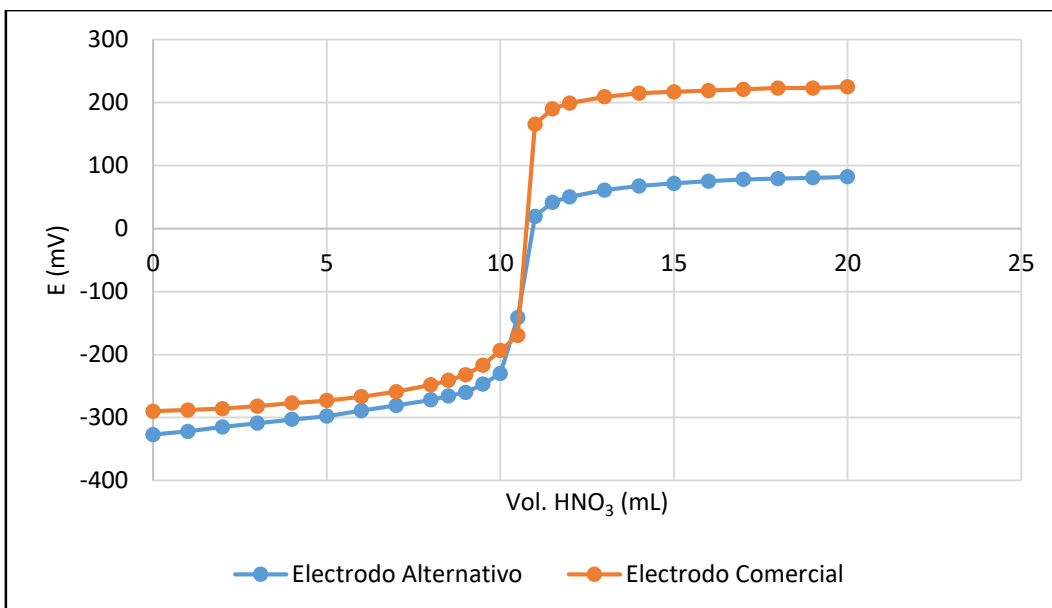


Gráfico 89. Curva de valoración #3 de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

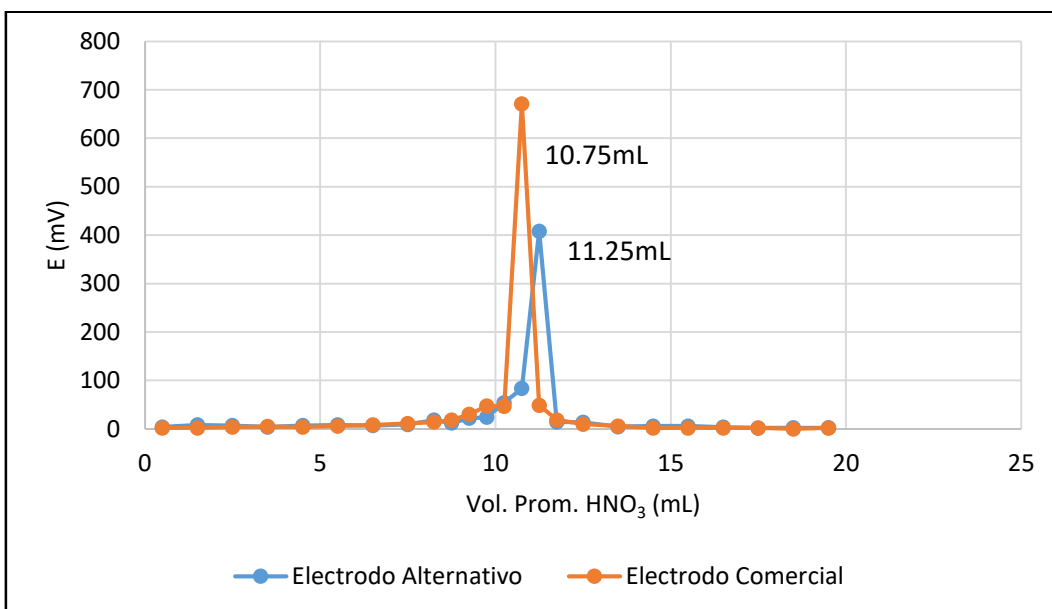


Gráfico 90. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #3 de 10 mL de NaOH 0.0095 M empleando como valorante HNO₃ 0.00862 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

○ **Concentración 0.055M**

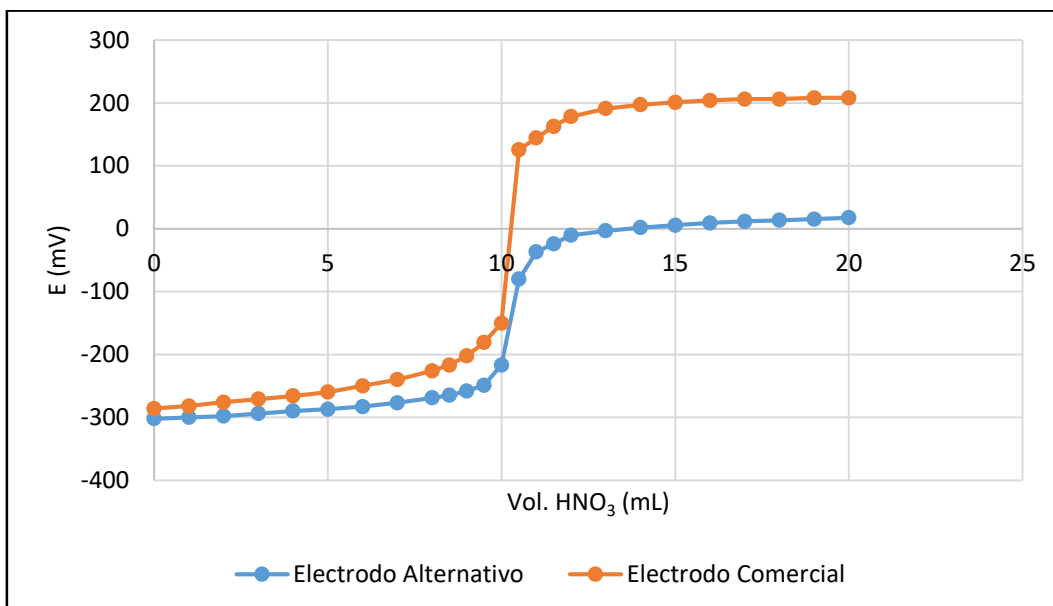


Gráfico 91. Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

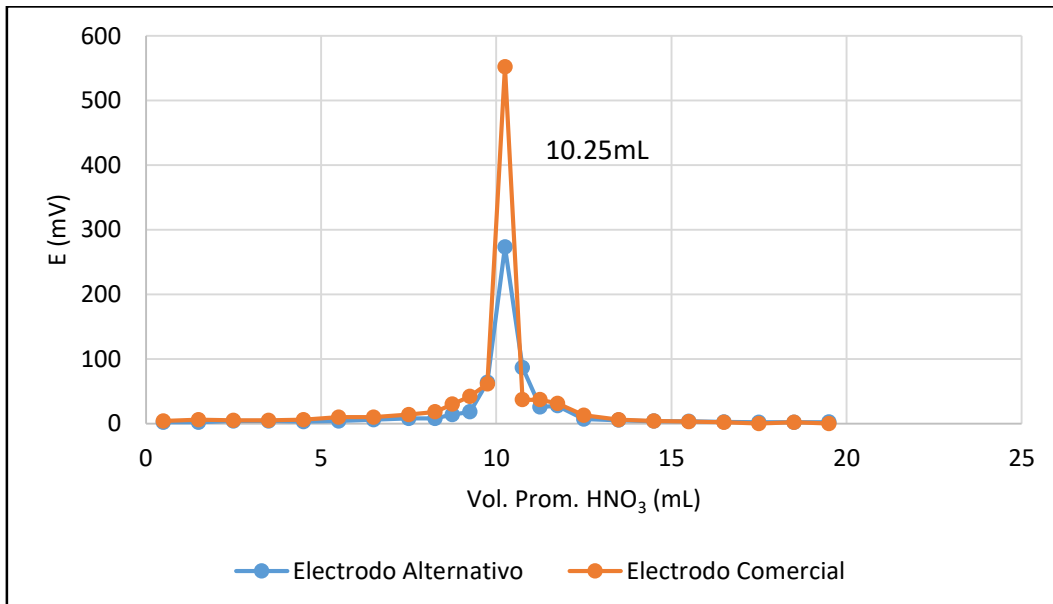


Gráfico 92. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #1 de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

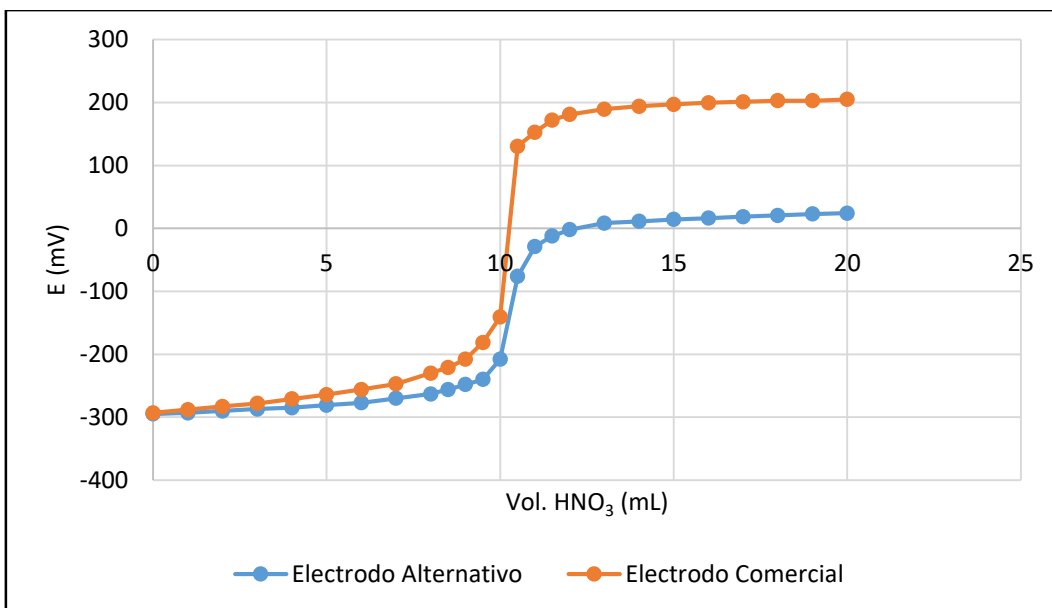


Gráfico 93. Curva de valoración #2 de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

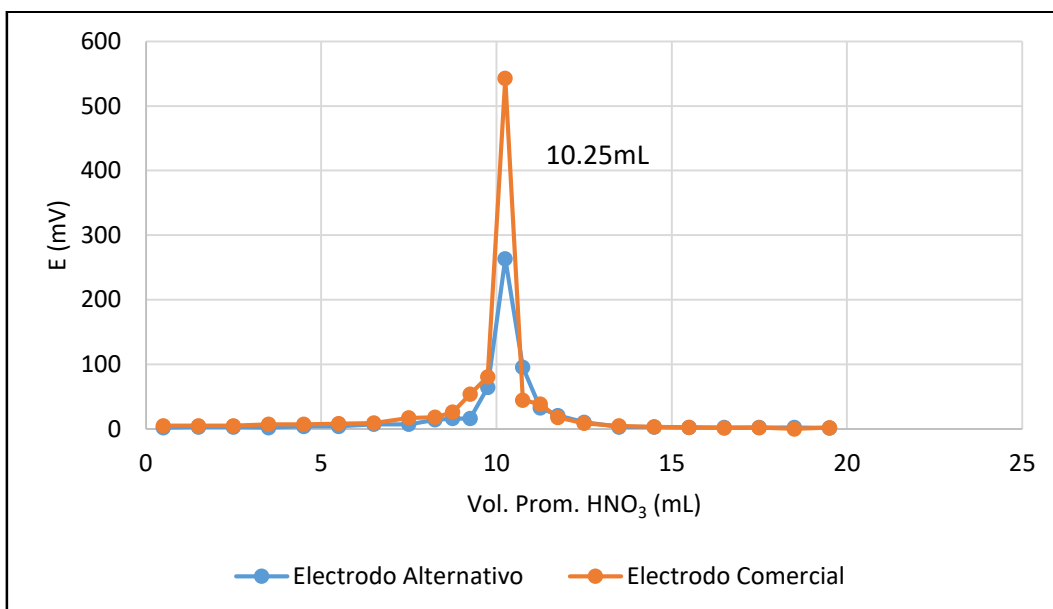


Gráfico 94. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #2 de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

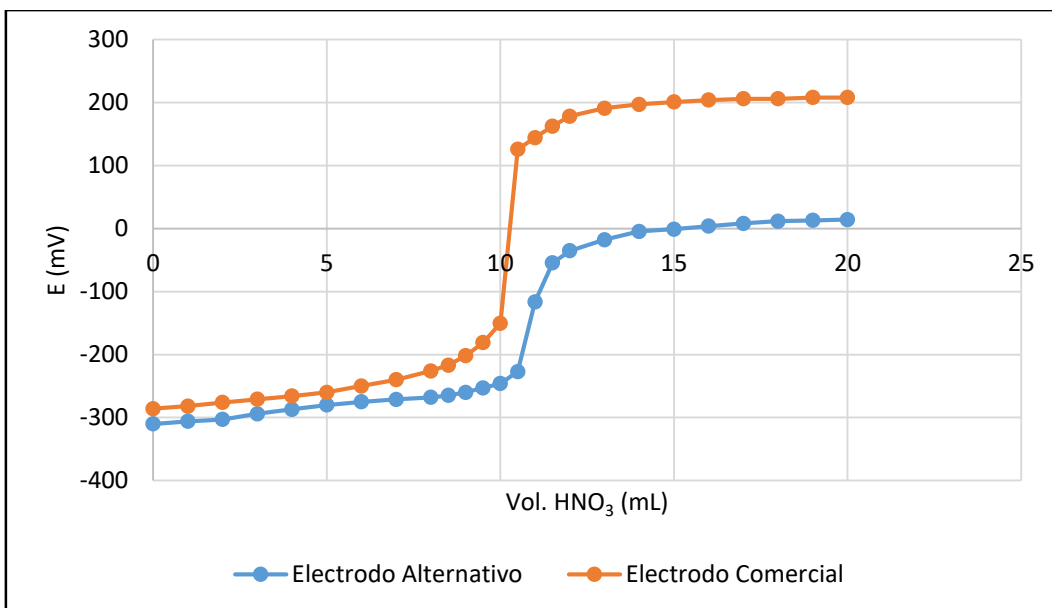


Gráfico 95. Curva de valoración #3 de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

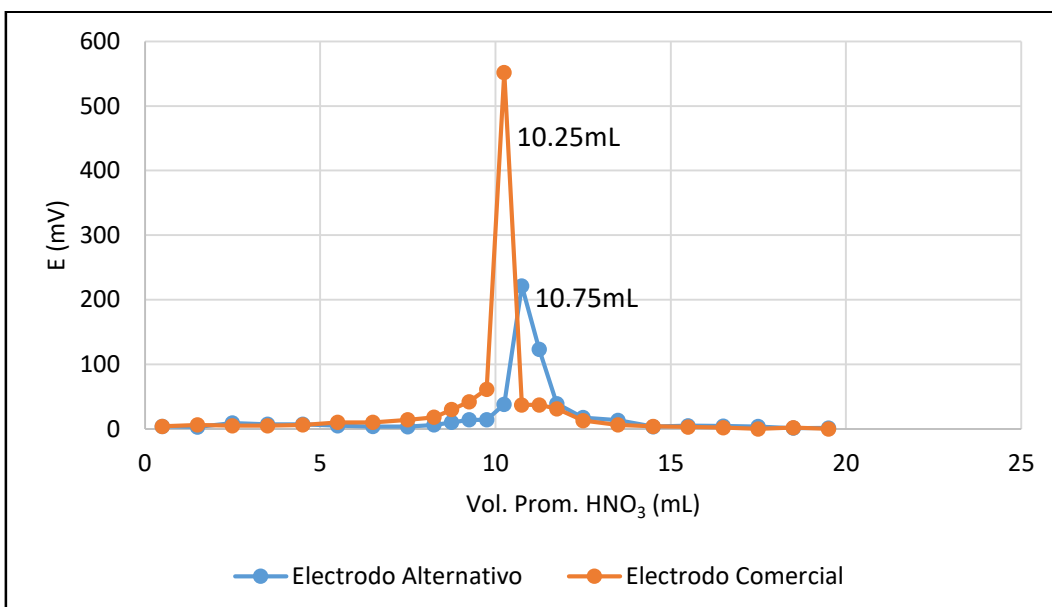


Gráfico 96. Estimación de la Primera Derivada de la Curva de valoración #3 de 10 mL de NaOH 0.0055 M empleando como valorante HNO₃ 0.0053 M seguida potenciométricamente con electrodo 2 POSAI-POSAI encapsulado y electrodo comercial.

ANEXO VII

Cálculo de la “t de Student” a través de la desviación estándar combinada

La desviación estándar combinada según Harris se obtiene a partir de la ecuación:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{conjunto\ 1} (X_i - \bar{X}_1)^2 + \sum_{conjunto\ 2} (X_j - \bar{X}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Ec. (4.1)

El valor de “t de student” se calculará para ambos conjuntos a partir de:

$$t_{calculada} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S} \sqrt{\frac{(n_1)(n_2)}{n_1 + n_2}}$$

Ec. (4.2)

Donde:

S = Desviación Estándar Combinada

$t_{calculada}$ = t de Student

X_i = Valores de PE del conjunto 1

X_j = Valores de PE del conjunto 2

\bar{X}_1 = Media de datos del conjunto 1

\bar{X}_2 = Media de datos del conjunto 2

n_1 = Número de datos del conjunto 1

n_2 = Número de datos del conjunto 2

Al conjunto 1 se le asignaran los valores mostrados del electrodo alternativo.

Al conjunto 2 se le asignaran los valores mostrados del electrodo comercial

➤ **Calculo de “t de student” Electrodo 1**

- **Valoraciones de HNO₃**

- **Concentración 0.0862M**

	PE	
	E. Alternativo	E. Comercial
Valoración 1	8.75	9.25
Valoración 2	9.25	9.25
Valoración 3	9.25	9.25
Media	9.083	9.25

Para calcular la desviación estándar combinada se asignan los valores correspondientes a la ecuación (4.1):

$$S = \sqrt{\frac{(8.75-9.0833)^2+(9.25-9.083)^2+(9.25-9.083)^2+(9.25-9.25)^2+(9.25-9.25)^2+(9.25-9.25)^2}{3+3-2}}$$

$$S = 0.2041$$

Posteriormente esta S resultante será utilizada en la ecuación (4.2), a fin de obtener $t_{calculada}$:

$$t_{calculada} = \frac{(9.0833 - 9.25)}{0.2041} \sqrt{\frac{(3)(3)}{3 + 3}}$$

$$t_{calculada} = -1$$

- **Concentración 0.00862M**

	PE	
	E. Alternativo	E. Comercial
Valoración 1	8.75	9.25
Valoración 2	9.25	9.25
Valoración 3	9.25	9.25
Media	9.083	9.25

Para calcular la desviación estándar combinada se asignan los valores correspondientes a la ecuación (4.1):

$$S = \sqrt{\frac{(8.75-9.0833)^2+(9.25-9.083)^2+(9.25-9.083)^2+(9.25-9.25)^2+(9.25-9.25)^2+(9.25-9.25)^2}{3+3-2}}$$

$$S = 0.2041$$

Posteriormente esta S resultante será utilizada en la ecuación (4.2), a fin de obtener $t_{calculada}$:

$$t_{calculada} = \frac{(9.0833 - 9.25)}{0.2041} \sqrt{\frac{(3)(3)}{3 + 3}}$$

$$t_{calculada} = -1$$

○ **Concentración 0.0053M**

	PE	
	E. Alternativo	E. Comercial
Valoración 1	9.75	9.75
Valoración 2	9.25	9.75
Valoración 3	9.75	9.75
Media	9.583	9.75

Para calcular la desviación estándar combinada se asignan los valores correspondientes a la ecuación (4.1):

$$S = \sqrt{\frac{(9.75-9.583)^2+(9.25-9.583)^2+(9.75-9.583)^2+(9.75-9.75)^2+(9.75-9.75)^2+(9.75-9.75)^2}{3+3-2}}$$

$$S = 0.2041$$

Posteriormente esta S resultante será utilizada en la ecuación (4.2), a fin de obtener $t_{calculada}$:

$$t_{calculada} = \frac{(9.5833 - 9.75)}{0.2041} \sqrt{\frac{(3)(3)}{3 + 3}}$$

$$t_{calculada} = -1$$

- **Valoraciones de NaOH**
 - **Concentración 0.095M**

	PE	
	E. Alternativo	E. Comercial
Valoración 1	10.25	10.25
Valoración 2	10.25	10.25
Valoración 3	10.75	10.25
Media	10.416	10.25

Para calcular la desviación estándar combinada se asignan los valores correspondientes a la ecuación (4.1):

$$S = \sqrt{\frac{(10.25-10.416)^2+(10.25-10.416)^2+(10.75-10.416)^2+(10.25-10.25)^2+(10.25-10.25)^2+(10.25-10.25)^2}{3+3-2}}$$

$$S = 0.2041$$

Posteriormente esta S resultante será utilizada en la ecuación (4.2), a fin de obtener $t_{calculada}$:

$$t_{calculada} = \frac{(10.4166 - 10.25)}{0.2041} \sqrt{\frac{(3)(3)}{3 + 3}}$$

$$t_{calculada} = 1$$

○ **Concentración 0.0095M**

	PE	
	E. Alternativo	E. Comercial
Valoración 1	10.75	10.75
Valoración 2	11.25	10.75
Valoración 3	10.75	10.75
Media	10.916	10.75

Para calcular la desviación estándar combinada se asignan los valores correspondientes a la ecuación (4.1):

$$S = \sqrt{\frac{(10.75-10.916)^2+(11.25-10.916)^2+(10.75-10.916)^2+(10.75-10.75)^2+(10.75-10.75)^2+(10.75-10.75)^2}{3+3-2}}$$

$$S = 0.2041$$

Posteriormente esta S resultante será utilizada en la ecuación (4.2), a fin de obtener $t_{calculada}$:

$$t_{calculada} = \frac{(10.9166 - 10.75)}{0.2041} \sqrt{\frac{(3)(3)}{3 + 3}}$$

$$t_{calculada} = 1$$

○ **Concentración 0.0055M**

	PE	
	E. Alternativo	E. Comercial
Valoración 1	10.25	10.25
Valoración 2	10.25	10.25
Valoración 3	10.75	10.25
Media	10.416	10.25

Para calcular la desviación estándar combinada se asignan los valores correspondientes a la ecuación (4.1):

$$S = \sqrt{\frac{(10.25-10.416)^2+(10.25-10.416)^2+(10.75-10.416)^2+(10.25-10.25)^2+(10.25-10.25)^2+(10.25-10.25)^2}{3+3-2}}$$

$$S = 0.2041$$

Posteriormente esta S resultante será utilizada en la ecuación (4.2), a fin de obtener $t_{calculada}$:

$$t_{calculada} = \frac{(10.416 - 10.25)}{0.2041} \sqrt{\frac{(3)(3)}{3 + 3}}$$

$$t_{calculada} = 1$$

➤ **Calculo de “t de student” Electrodo 2**

- **Valoraciones de HNO₃**

- **Concentración 0.0862M**

	PE	
	E. Alternativo	E. Comercial
Valoración 1	9.25	9.25
Valoración 2	8.75	9.25
Valoración 3	9.25	9.25
Media	9.083	9.25

Para calcular la desviación estándar combinada se asignan los valores correspondientes a la ecuación (4.1):

$$S = \sqrt{\frac{(9.25-9.0833)^2+(8.75-9.0833)^2+(9.25-9.0833)^2+(9.25-9.25)^2+(9.25-9.25)^2+(9.25-9.25)^2}{3+3-2}}$$

$$S = 0.2041$$

Posteriormente esta S resultante será utilizada en la ecuación (4.2), a fin de obtener $t_{calculada}$:

$$t_{calculada} = \frac{(9.0833 - 9.25)}{0.2041} \sqrt{\frac{(3)(3)}{3 + 3}}$$

$$t_{calculada} = -1$$

○ **Concentración 0.00862M**

	PE	
	E. Alternativo	E. Comercial
Valoración 1	8.75	9.25
Valoración 2	9.25	9.25
Valoración 3	9.25	9.25
Media	9.083	9.25

Para calcular la desviación estándar combinada se asignan los valores correspondientes a la ecuación (4.1):

$$S = \sqrt{\frac{(8.75-9.0833)^2+(9.25-9.0833)^2+(9.25-9.0833)^2+(9.25-9.25)^2+(9.25-9.25)^2+(9.25-9.25)^2}{3+3-2}}$$

$$S = 0.2041$$

Posteriormente esta S resultante será utilizada en la ecuación (4.2), a fin de obtener $t_{calculada}$:

$$t_{calculada} = \frac{(9.0833 - 9.25)}{0.2041} \sqrt{\frac{(3)(3)}{3 + 3}}$$

$$t_{calculada} = -1$$

○ **Concentración 0.0053M**

	PE	
	E. Alternativo	E. Comercial
Valoración 1	9.75	9.75
Valoración 2	9.75	9.75
Valoración 3	9.25	9.75
Media	9.583	9.75

Para calcular la desviación estándar combinada se asignan los valores correspondientes a la ecuación (4.1):

$$S = \sqrt{\frac{(9.75-9.5833)^2+(9.75-9.5833)^2+(9.25-9.5833)^2+(9.75-9.75)^2+(9.75-9.75)^2+(9.75-9.75)^2}{3+3-2}}$$

$$S = 0.2041$$

Posteriormente esta S resultante será utilizada en la ecuación (4.2), a fin de obtener $t_{calculada}$:

$$t_{calculada} = \frac{(9.5833 - 9.75)}{0.2041} \sqrt{\frac{(3)(3)}{3 + 3}}$$

$$t_{calculada} = -1$$

- **Valoraciones de NaOH**
 - **Concentración 0.095M**

	PE	
	E. Alternativo	E. Comercial
Valoración 1	10.75	10.25
Valoración 2	10.25	10.25
Valoración 3	10.25	10.25
Media	10.416	10.25

Para calcular la desviación estándar combinada se asignan los valores correspondientes a la ecuación (4.1):

$$S = \sqrt{\frac{(10.75-10.416)^2+(10.25-10.416)^2+(10.25-10.416)^2+(10.25-10.25)^2+(10.25-10.25)^2+(10.25-10.25)^2}{3+3-2}}$$

$$S = 0.2041$$

Posteriormente esta S resultante será utilizada en la ecuación (4.2), a fin de obtener $t_{calculada}$:

$$t_{calculada} = \frac{(10.4166 - 10.25)}{0.2041} \sqrt{\frac{(3)(3)}{3 + 3}}$$

$$t_{calculada} = 1$$

○ **Concentración 0.0095M**

	PE	
	E. Alternativo	E. Comercial
Valoración 1	10.75	10.75
Valoración 2	10.75	10.75
Valoración 3	11.25	10.75
Media	10.916	10.75

Para calcular la desviación estándar combinada se asignan los valores correspondientes a la ecuación (4.1):

$$S = \sqrt{\frac{(10.75-10.916)^2+(10.75-10.916)^2+(11.25-10.416)^2+(10.75-10.75)^2+(10.75-10.75)^2+(10.75-10.75)^2}{3+3-2}}$$

$$S = 0.2041$$

Posteriormente esta S resultante será utilizada en la ecuación (4.2), a fin de obtener $t_{calculada}$:

$$t_{calculada} = \frac{(10.9166 - 10.75)}{0.2041} \sqrt{\frac{(3)(3)}{3 + 3}}$$

$$t_{calculada} = 1$$

○ **Concentración 0.0055M**

	PE	
	E. Alternativo	E. Comercial
Valoración 1	10.25	10.25
Valoración 2	10.25	10.25
Valoración 3	10.75	10.25
Media	10.416	10.25

Para calcular la desviación estándar combinada se asignan los valores correspondientes a la ecuación (4.1):

$$S = \sqrt{\frac{(10.25-10.416)^2+(10.25-10.416)^2+(10.75-10.416)^2+(10.25-10.25)^2+(10.25-10.25)^2+(10.25-10.25)^2}{3+3-2}}$$

$$S = 0.2041$$

Posteriormente esta S resultante será utilizada en la ecuación (4.2), a fin de obtener $t_{calculada}$:

$$t_{calculada} = \frac{(10.4166 - 10.25)}{0.2041} \sqrt{\frac{(3)(3)}{3 + 3}}$$

$$t_{calculada} = 1$$