

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
CENTRO DE EQUILIBRIOS EN SOLUCIÓN**



**ESTUDIO DE LOS COMPLEJOS DE VANADIO (III) CON AMINOACIDOS.
SISTEMA H^+ - V^{3+} - ÁCIDO GLUTÁMICO (KCl 3.0 M, 25 °C)**

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Clara del Valle Palma
González, para optar al título de
Licenciado en Química

Caracas, Febrero 2010

Los abajo firmantes designados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del Seminario de Investigación titulado:

**ESTUDIO DE LOS COMPLEJOS DE VANADIO (III) CON AMINOACIDOS.
SISTEMA $H^+ - V^{3+} - \text{ÁCIDO GLUTÁMICO}$ (KCl 3.0 M, 25 °C)**

Presentado por la Br. Palma Clara, C.I 17.779.594, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por el Reglamento vigente de Trabajo Especial de Grado de la Escuela de Química.

Dra. Mary Lorena Araujo
(Tutor)

Dr. Felipe Brito
(Tutor)

Dr. Manuel Caetano
(Jurado)

Dr. Vito Lubes
(Jurado)

La Dra. Mary Lorena Araujo Freschi, Profesora e Investigadora Titular y el Dr. Felipe Brito Profesor e Investigador Titular del Centro de Equilibrios en Solución (CES) de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

CERTIFICAMOS: Que el presente Trabajo Especial de Grado, titulado:

**ESTUDIO DE LOS COMPLEJOS DE VANADIO (III) CON AMINOACIDOS.
SISTEMA $H^+ - V^{3+} - \text{ÁCIDO GLUTÁMICO}$ (KCl 3.0 M, 25 °C)**

Presentado por la Br. Palma Clara, C.I 17.779.594; para aspirar al Título de Licenciado en Química, ha sido realizado en los laboratorios Centro de Equilibrios en Solución (CES) bajo nuestra dirección durante el año 2009 y con esta fecha autorizamos su presentación.

Caracas, Febrero de 2010

Dra. Mary Lorena Araujo Freschi (Tutor)

Dr. Felipe Brito (Tutor)

Hay que tener presente que una “Cosa conlleva a Otra”, lo digo en el sentido que así como yo y todos los seres humanos siempre necesitamos de alguien para seguir adelante y que nos de un poco de alegría, de apoyo, de confianza y de fortaleza en todo momento, tomando en cuenta que los primero, que estuvieron conmigo en toda situación, momentos y lugar de gran adversidad y difíciles eran esos seres tan maravillosos y celestiales que son: Mi Dios todo Poderoso y Mi Señor Jesús de Nazaret, por ser mi luz y guiarme en el camino, dándome sobre todo mucha fortaleza para seguir adelante por los senderos mas accesibles para mi.

Quiero agradecerles de la forma más sincera y pura de mi corazón, en segundo Lugar, pero que son los primeros en esta tierra, a mis padres queridos y adorados Edelmira González y Guido Palma, por darme la vida y las herramientas necesarias para obtener hoy en día lo más apreciado para mí que es mi “Título”, pero especialmente quiero agradecerle a mi Madre bella y querida por tener la sabiduría, paciencia y amor en todo momento, que con su sencillez y ternura hacia todo lo posible para apoyarme y capaz de hacer cualquier cosa con el hecho de que no me faltara nada, de que siguiera adelante y hacerme el camino más liviano “Gracias Mami”.

Los siguientes en mi lista son todos mis hermanos: Carmen Elena, María Elena, Edgar Eduardo, Guido Eduardo, Ana Carina y Nicolás Jesús, que de una u otra forma me apoyaron con su compañía y entusiasmo que recibía en momentos que más lo necesitaba, pero especialmente le agradezco a mis hermanas Carmen Elena, María Elena y Ana Carina. A Carmen y a María que depositaron su confianza en mí, dándome su ayuda y su ejemplo de sacrificio y de luchadoras me dieron su apoyo moral y a Carina por ser más que una hermana, ha sido una amiga y compañera, que a pesar de que teníamos o tenemos muestras diferencias, siempre ha estado conmigo en todo los momentos.

A otra persona a quien debo agradecerle por brindarme su compañía y ayuda en gran parte de mi desarrollo de la carrera es a Simón Villarroel, el padre de mi sobrinito bello Isaac Maximiliano, que a su vez, este niño con su ternura e inocencia

me llenaba de mucha alegría y me sacaba una sonrisa hasta en los momentos en que yo más me sentía triste.

De una u otra forma quiero agradecerles por darme algunos momentos gratos y palabras de aliento a toda mi familia, especialmente a mi abuela María Elena y a mi tía querida Ramona.

Quiero expresarle de lo más profundo de mi corazón a una gran compañera que me abrió sus puertas para brindarme todo el conocimiento necesario y ser una persona con principios éticos y morales, que a pesar de ser fuerte, exigente y disciplinada me ha dado un valioso premio que es mi “Título Licenciado en Química”, el cual va ser mi presente y seguirá siempre en el futuro, ella no es más que la “Universidad Central de Venezuela”, la Casa que Vence las Sombras.

Y para finalizar con esa gran compañera Universidad Central de Venezuela, que me ha dado la dicha de conocer a seres especiales que han puesto su granito de arena para lograr lo mas anhelado para mi “Mi Título LICENCIADO EN QUIMICA”, ellos son: mis compañeros de clases durante mi carrera, especialmente: Clarimar Camacho, Yusbeyka Martínez, Nallybe Ocanto y Rosmary León; a todos los profesores, en especial a mi Profesora y Tutora Mary Lorena Araujo, por brindarme su ayuda, apoyo y confianza en la etapa final de mi carrera, al igual quiero agradecerles a dos personas especiales para mi del Centro de Equilibrio de Química que son José Daniel Martínez y Karla Carbonell, que me ofrecieron su amistad y me sirvieron de mucho apoyo en esta etapa final. “MIL GRACIAS A TODOS”.

Quiero dejar unas palabras que sean trascendentes para aquellas personas que quieran seguir adelante que “CUANDO SE QUIERE SE PUEDE”, eso significa ser siempre Constante y Luchador a pesar de todos los obstáculos, tormentas y espinas que se puedan encontrar en el camino.

RESUMEN

En el presente trabajo fueron estudiados los siguientes sistemas:

H⁺ - ácido glutámico

H⁺ - V³⁺ - ácido glutámico

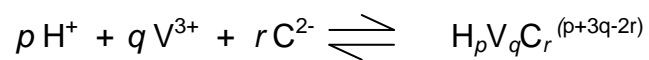
por medio de medidas de fuerzas electromotrices, *emf*(H), en KCl 3.0 M y a 25 °C.

El análisis de los datos mediante LETAGROP arrojó los siguientes resultados:

Sistema H⁺ - ácido glutámico (H₂C)

| Especies | <i>pKa</i> | Log β _{pqr} |
|--|------------|----------------------|
| H ₂ C + H ⁺ \rightleftharpoons H ₃ C ⁺ | 2.46(1) | 2.46(1) |
| H ₂ C \rightleftharpoons H ⁺ + HC ⁻ | 4.49(1) | 4.49(1) |
| H ₂ C \rightleftharpoons H ⁺ + C ²⁻ | 9.89(1) | 14.38(1) |
| σ(θ _c) | | 0.011 ₄ |

Sistema H⁺ - V³⁺ - ácido glutámico



| Especies | Log β_{pqr} | | | |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| | 25.5<26.0 | Max 26.1 | 25.7<26.1 | 23.8<25.8 |
| [H ₂ VC ₂] ⁺ | 25.5<26.0 | Max 26.1 | 25.7<26.1 | 23.8<25.8 |
| [HVC ₂] | 21.3(2) | 21.4(3) | 21.4(2) | 21.4(2) |
| [H ₂ VC] ⁺³ | 17.81(5) | 17.88(4) | 17.93(4) | 17.95(3) |
| [HVC] ⁺² | 15.06(5) | 15.12(4) | 15.17(4) | 15.172(6) |
| $\sigma(\theta_B)$ | 0.085 ₆ | | | |
| $\sigma(\theta_C)$ | | 0.019 ₆ | | |
| $\sigma(\theta_{Cf})$ | | | 0.078 ₅ | |
| $\Sigma(E)$ / mV | | | | 1.2 ₈ |

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| SÍMBOLOS | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 1.1. Generalidades del vanadio | 4 |
| 1.2. Química del vanadio(III) | 8 |
| 1.3. Química de los aminoácidos | 14 |
| 1.3.1. Acido glutámico | 21 |
| 1.4. Complejos de vanadio(III) y ácido glutámico | 24 |
| 2. FUNDAMENTO TEÓRICO..... | 26 |
| 2.1. Ley de acción de masas | 27 |
| 2.2. Escala de actividades y constantes de estabilidad..... | 27 |
| 3. OBJETIVOS..... | 30 |
| 3.1. Objetivo general | 31 |
| 3.2. Objetivos específicos..... | 31 |
| 4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL..... | 32 |
| 4.1. Reactivos y disoluciones..... | 33 |
| 4.2. Medidas de $emf(H)$ | 34 |
| 4.3. Instrumentos de medida | 35 |
| 4.4. Procedimiento de medida..... | 36 |
| 4.4.1 Sistema H^+ - ácido glutámico | 37 |
| 4.4.2. Sistema H^+ - V(III) – ácido glutámico..... | 38 |
| 4.5. Tratamiento de los datos experimentales | 39 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 41 |
| 5.1. Determinación de los parámetros de E_0 y J | 42 |
| 5.2. Sistema H^+ - ácido glutámico..... | 44 |

| | |
|---|-----------|
| 5.3. Sistema H⁺ - V(III) – ácido glutámico..... | 46 |
| 6. CONCLUSIONES | 56 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA | 58 |
| 8. APÉNDICE..... | 63 |

SÍMBOLOS

| | |
|--------------------------|--|
| H, B, C | Concentraciones totales (analíticas) de H ⁺ , V(III), ligando |
| <i>h, b, c</i> | Concentraciones en equilibrio de H ⁺ , metal y ligando |
| β_{pqr} | Constante de estabilidad de un complejo $H_pV_qC_r^{p+3q-r}$ |
| <i>emf(H)</i> | Fuerzas electromotrices (EV) |
| E | Potencial (mV), pila REF // S / EV |
| E _o | Potencial estándar (mV) |
| EV | Electrodo de vidrio, pila REF // S / EV |
| {H} | Disolución <i>madre</i> de ácido fuerte (K, H)Cl 3,0 M |
| J | Potencial de difusión (mV) en la unión líquida //, pila REF // S / EV |
| {mi} | Medio iónico KCl 3.0 M |
| M | Moles / L |
| mM | milimoles / L |
| nk | n° de complejos |
| np | n° de puntos en un experimento |
| <i>pH</i> | $-\log h$ |
| {OH} | Disolución <i>madre</i> de base fuerte K(Cl, OH) 3.0 M |
| REF | Semipila de referencia, pila REF // S / EV |
| σ | Dispersión = $\sqrt{U/(ns.np - nk)}$ |
| S | Disolución problema en el <i>reactor</i> , pila REF // S / EV |
| {V³⁺} | Disolución <i>madre</i> de vanadio (III) |
| {VO²⁺} | Disolución <i>madre</i> de vanadio (IV) |
| U | Suma de mínimos cuadrados |
| T | Disolución <i>titulante</i> |
| θ_B | N° medio de H ⁺ asociados por mol de V(III) |
| θ_C | N° medio de H ⁺ asociados por mol de ligando (H ₂ C) |

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades del vanadio

El vanadio es un elemento químico perteneciente a la primera serie de los metales de transición de la tabla periódica y está ubicado en el grupo 5B junto con el niobio y el tántalo. Su símbolo es V y su configuración electrónica $[\text{Ar}] 3d^3 4s^2$.^{1,2} Sus propiedades físicas son mostradas en la **tabla 1**.³

Tabla 1. Propiedades físicas del vanadio.³

| | |
|--|-------|
| Número atómico | 23 |
| Peso atómico | 50,95 |
| Abundancia de isótopos | 100% |
| Densidad a 20 °C (g/cm³) | 6.07 |
| Punto de fusión (°C) | 1730 |
| Punto de ebullición (°C) | 3400 |
| Radio covalente (°A) | 1.224 |
| Potencial de ionización (ev) | 6.83 |

En 1801 el mineralogista español Andrés Manuel del Río, quien trabajaba en la ciudad de México, recibió unas muestras de un mineral de plomo encontrado cerca del pueblo de Zimapán. Después de un detallado análisis, llegó a la conclusión que este mineral contenía un nuevo elemento metálico. Preparó varios compuestos con él y al observar la variedad de colores que presentaban, denominó *pancromio* (en griego = muchos colores) al nuevo elemento. Poco después, al comprobar que calentando los compuestos coloreados cambiaban su color al rojo, lo denominó *eritronio* (en griego, *eritros* = rojo). Sin embargo, el químico francés Collet - Descotils cuestionó este descubrimiento en 1804 diciendo, erróneamente, que se trataba de cromo impuro. Esto provocó que del Río se retractara de su descubrimiento.^{1,2}

No es sino hasta el año 1830, que el químico sueco Neils Sefström vuelve a descubrir el elemento mientras trabajaba en unas menas de hierro y le da el nombre actual en honor a Vanadis en la mitología escandinava la diosa de la belleza y la

juventud. Tan sólo un año después, el químico alemán Wöhler concluyó que se trataba del mismo elemento descubierto en 1801 por Del Río, aunque se conservó injustamente el nombre actual. ^{1,4}

El máximo estado de oxidación del vanadio es +5. En disoluciones ácidas existen 4 especies catiónicas bien definidas $[V^{II}(H_2O)_6]^{2+}$, $[V^{III}(H_2O)_6]^{3+}$, $[VO(H_2O)_5]^{2+}$, $[VO_2(H_2O)_5]^+$, ninguna de ellas se desproporciona debido a que los iones se hacen mejores oxidantes según aumenta el estado de oxidación; los iones V^{II} , V^{III} se oxidan en el aire.⁵ Como sucede con el titanio y en común con los otros elementos de transición, los halogenuros y los oxohalogenuros de vanadio se comportan como ácidos de Lewis, formando aductos con ligandos neutros e iones halógenos complejos con los iones halogenuros. ⁵

El vanadio está presente en la naturaleza en una proporción aproximada del 0.02%. Está ampliamente distribuido, pero existen algunos depósitos ricos. Sus minerales más importantes son la *patronita* (un sulfuro complejo), la *vanadita* $[Pb_5(VO)_3Cl]$, y la *carnotita* $[K(UO_2)VO_4 \cdot 3/2H_2O]$, **figura 1**. El vanadio está también muy difundido en ciertos petróleos, especialmente los de Venezuela y se puede separar de los mismos como porfirinas de oxovanadio (IV). El V_2O_5 se recupera del polvo de los gases de combustión.⁵

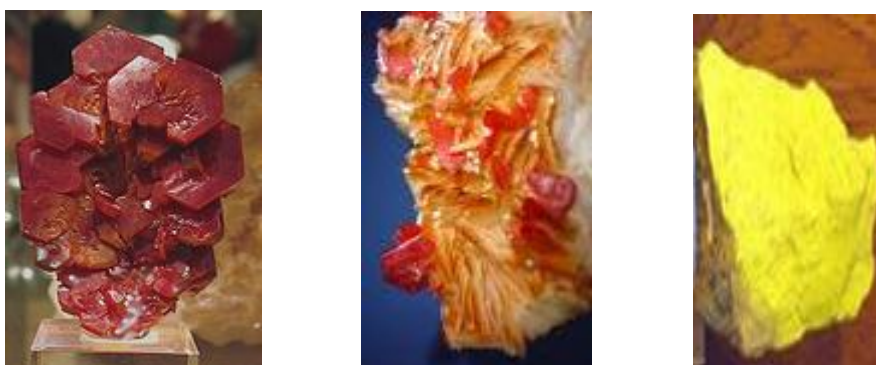


Figura 1. Minerales *patronita*, *vanadita* y *carnosita*.

El vanadio está presente como V^{III} y V^{IV} en algunos sistemas vivos, especialmente las *acidias* y los *tunicados*. Ha sido aislado del hongo *Amanita muscaria*, un complejo de $V(IV)$ y el ligante hiroximinopropionato. ⁶ Es muy difícil obtener el vanadio en estado muy puro debido a que es muy reactivo con respecto al oxígeno, nitrógeno y carbono. ⁵

En la parte comercial es usado en aleaciones de acero y de hierro colado, a las que le imparte ductilidad y resistencia al choque. La producción comercial se limita en su mayor parte a la obtención de una aleación de hierro, el ferrovanadio; se reporta que funde a aprox. 1700 °C, pero la adición de carbono (intersticialmente) eleva el punto de fusión de una manera notable: el vanadio que contenga 10% de carbono funde a los 2700 °C. En el estado macizo no es atacado por el aire, agua, álcalis o ácidos no oxidantes con excepción del HF, a la temperatura ambiente. Se disuelve en ácido nítrico y agua regia. A temperaturas elevadas se combina con la mayoría de los no metales. ⁵

La química de coordinación del vanadio juega un papel muy importante en las interacciones de este elemento con biomoléculas. Sin embargo, en los seres humanos no está demostrada su *esencialidad*, aunque existen compuestos de vanadio que imitan y potencian la actividad de la insulina. De algunas de las funciones atribuidas a este elemento, se destacan el efecto catalizador en la reducción del nitrógeno molecular, los efectos terapéuticos en padecimientos diabéticos, la participación en los sistemas hormonal, cardiovascular y actividad anticancerígeno. ^{6,7,8}

La *esencialidad*, biodistribución y toxicología del vanadio, así como su actividad biológica y farmacológica, son áreas en creciente investigación y difundido interés. Aunque se han sugerido numerosas funciones fisiológicas y bioquímicas y a pesar de la magnitud del conocimiento hasta ahora acumulado, el vanadio aún no tiene un papel claramente definido en los organismos superiores. ⁹

El vanadio asume una posición excepcional entre los *biometales*, debido a que sus formas catiónicas y aniónicas pueden participar en procesos biológicos. Respecto a sus formas aniónicas como vanadatos(V), éstas se parecen a los fosfatos, pero en sus formas catiónicas, principalmente como VO^{2+} y algunas veces como V^{3+} , el vanadio se comporta como un típico metal de transición, que compite con otros cationes metálicos para coordinarse con los ligandos presentes en el medio que se encuentre. Esta dualidad, junto con la facilidad con la cual el vanadio cambia sus ambientes de coordinación y sus estados de oxidación, pudieran ser los responsables de su comportamiento tan particular como *biometal*, características que apenas comienzan a conocerse; de allí la importancia de conocer el comportamiento de los complejos que el vanadio en sus variados estados de valencia crea con los diferentes ligandos que forman parte de los sistemas biológicos. ⁹⁻¹¹

Algunos datos han sugerido que la *citotoxicidad* de V(V) y V(IV) puede ser la responsable de la destrucción de las fibras de la actinia, de las ensambladuras de la célula y de la adherencia focal en las células cancerosas. ^{12,13}

En el transcurso de los años han sido descubiertas tres clases de enzimas que depende del vanadio: la *nitrogenasa*, la haloperoxidasa y el nitrato *reductasa*, las cuales están presentes en la naturaleza y en otro tipo de organismos. El vanadio tiene la habilidad de producir efectos fisiológicos como la inhibición de enzimas *fosfato-matabolizante*, la estimulación de *fosfamutasa-isomeraza* y la actividad *insulinomimética*. ^{10,14-16}

1.2. Química del vanadio(III)

El vanadio (III) posee una configuración electrónica [Ar] 3d². El óxido del vanadio(III) es una sustancia refractaria de color negro que se obtiene por reducción del V₂O₅ con hidrógeno o monóxido de carbono. Tiene estructura del corindón, pero es difícil obtenerlo puro, ya que tiene marcada tendencia a volverse deficiente de oxígeno sin cambio en la estructura. Se reportan composiciones tan bajas como VO_{1.35} que retienen la estructura del corindón. El V₂O₃ es enteramente básico y se disuelve en ácidos para dar disoluciones del ión acuoso de V^{III} o sus complejos. De estas soluciones se obtiene por adición de OH⁻, el óxido hidratado que se oxida fácilmente al aire.⁵

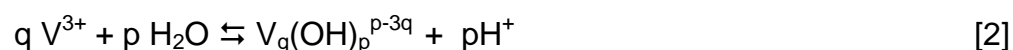
El ión acuoso [V(H₂O)₆]³⁺ se puede obtener por reducción electrolítica o química de disoluciones de VO²⁺ o VO₂⁺. Tales disoluciones y también otras del V(III) están sujetas a oxidación por el aire según el potencial normal de la reacción [1].⁵



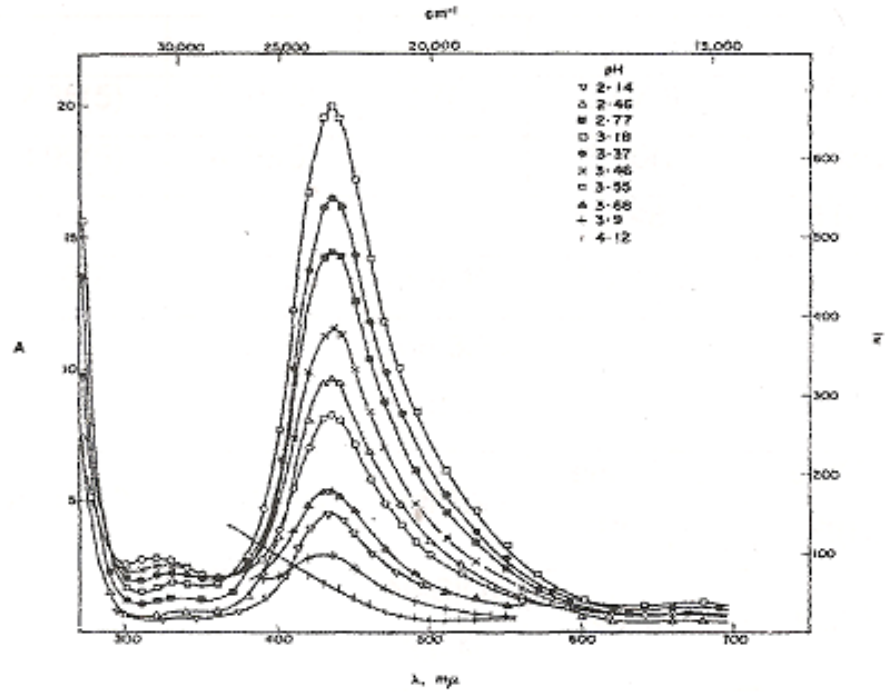
Cuando se mezclan soluciones de V²⁺ y VO²⁺, se forma V³⁺, pero se presenta también VOV⁴⁺, una especie intermediaria de color café que tiene un puente oxo.⁵

Las disoluciones de vanadio(III) son de color azul en medio HClO₄ y verde en HCl. Tiene simetría octaédrica y posee dos bandas de absorción a 400 nm (25.0 kK, ε = 8.4) y 580 nm (17.7kK, ε = 5.6), las cuales han sido atribuidas a las transiciones ³T_{1g} (F) → ³T_{1g} (P) y ³T_{1g} (F) → ³T_{2g} (F), originando un Δ_∞ = 19 kK, **figuras 2 y 3**.¹⁷

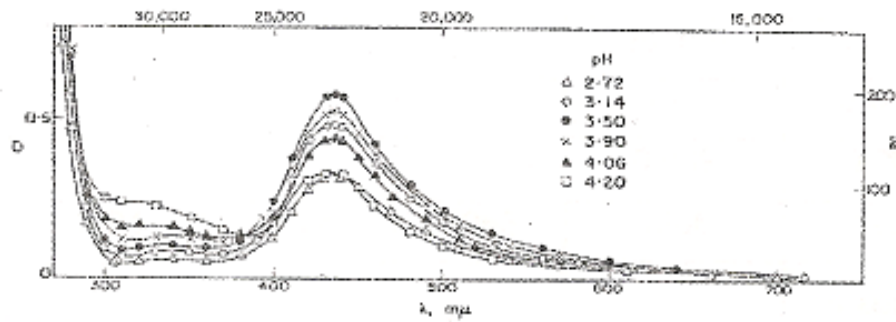
A pH > 1 el ión V³⁺ se hidroliza de acuerdo a la reacción general [2]



La **figura 2** muestra el espectro del vanadio(III) en función del pH (NaCl 1.0 M, 20°C).¹⁸



(a)



(b)

Figura 2. Espectro de absorción de vanadio (III) (NaCl 1.0 M, 25°C) a diferentes pH .
(a) $B = 0.0292$ M y (b) $B = 0.00292$ M.¹⁸

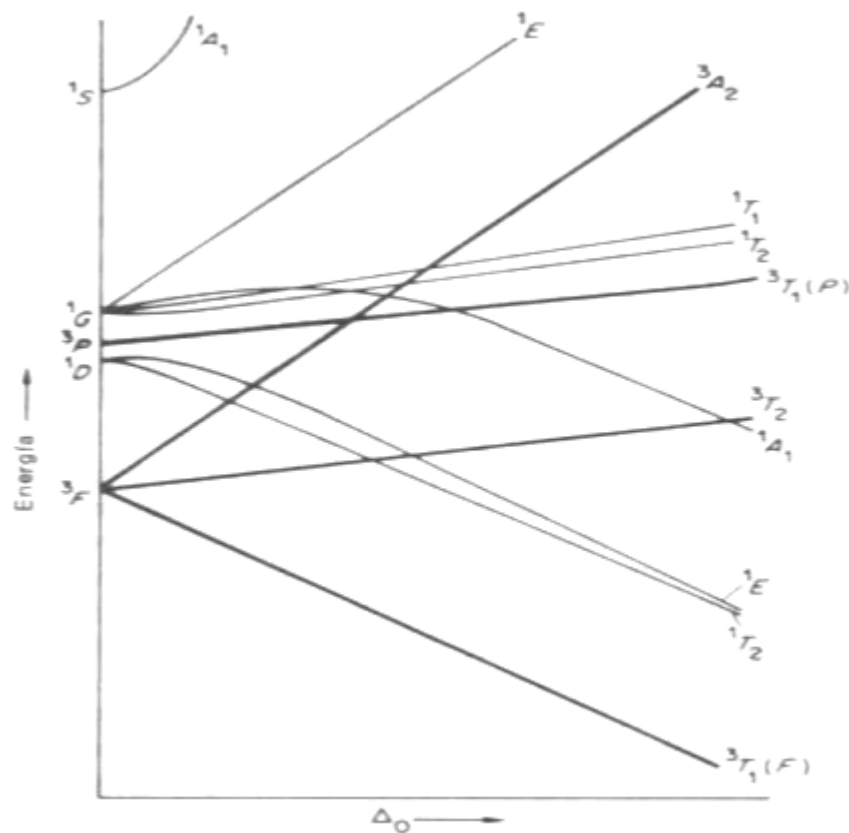


Figura 3. Diagrama de Orgel. ⁵

Jezowska-Trzebiatowska y Pajdowski, ^{19,20,21} citan trabajos no publicados de Pajdowski (KCl 1.0 M, 25.5 °C), quien a partir de medidas de $emf(H)$ propuso las especies $[VOH]^{2+}$ y $[V(OH)_2]^+$.

Gandeboeuf y Souchay, ²² realizaron medidas de $emf(H)$ y de UV-Vis (320, 436 nm) ($NaClO_4$ 1.0 M, 20 °C) en los intervalos $6.7 \leq B \leq 20$ mM (B = concentración total de vanadio), $1.56 \leq pH \leq 3.58$ y $0 \leq \theta_B \leq 1.44$ (θ_B = número promedio de OH^- ligados por mol de V(III)). La intensidad de la banda de absorción a 436 nm crece desde $pH \approx 2.2$ a 3.0 y seguidamente, decrece hasta $pH \approx 3.5$, mientras que la banda en 320 nm siempre crece desde $pH \approx 2.2$ a 3.5. Propusieron las especies $[VOH]^{2+}$ y $[V_2(OH)_3]^{3+}$. Experimentos análogos en Na_2SO_4 0.4 M y 20 °C para $B = 10$

- 30 mM, $pH = 2 - 3.8$ y $\theta_B = 0.3 - 1.8$, indican la presencia de los complejos $[VOH]^{2+}$ y $[V_3(OH)_6]^{3+}$.

Sillén cita resultados no publicados de Brito mediante medidas de $emf(EV)$ y $emf(Pt(H_2))$ ($NaClO_4$ 3.0 M, 25 °C), que indican la presencia de $[VOH]^{2+}$, $[V(OH)_2]^+$ y especies polinucleares.²³

Newton y Backer,²⁴ a partir del estudio de la cinética de la reacción entre disoluciones ligeramente ácidas de V(IV) y V(II) ($LiClO_4$ 1.0 M, 25 °C), propusieron la formación de un intermediario de fórmula V_2O^{4+} que absorbe a 425 nm.

Pajdowski,^{25,26} empleando medidas de $emf(EV)$ ($NaCl$ 1.0 y 3.0 M, 25 °C), propuso los complejos $[VOH]^{2+}$, $[V(OH)_2]^+$ y $[V_2(OH)_2]^{4+}$.

Brito,²³ a partir de medidas de $emf(EV)$ y $emf(Pt(H_2))$ (KCl 3.0 M*, 25 °C), propuso las especies $[VOH]^{2+}$, $[V_2(OH)_2]^{4+}$, $[V(OH)_2]^+$ y $[V_2(OH)_3]^{3+}$.

Padjowski,¹⁸ utilizando medidas *UV-Vis* (320, 436 nm) ($NaCl$ 1.0, 25 °C), **figura 2**, encontró que: (1) para $B = 29.2$ mM la intensidad de la banda a 436 nm crece desde $pH = 2.14$ a 3.18 y seguidamente, decrece hasta $pH = 4.12$, mientras que la banda a 320 nm siempre crece desde $pH = 2.72$ a 3.55; (2) para $B = 2.92$ la banda a 436 nm crece desde $pH = 2.72$ a 3.50 y seguidamente, decrece hasta $pH = 4.20$, mientras que la banda en 320 nm siempre crece desde $pH = 2.72$ a 4.20. Estos datos estaban de acuerdo con la formación de las mismas especies que había encontrado a partir de medidas de $emf(H)$,^{25,26} si bien la disminución de la absorbancia a $pH > 3$ no puede ser debida al cambio del dímero $[V_2(OH)_2]^{4+}$ por $[V(OH)_2]^+$, puesto que la proporción de esta última especie debería aumentar con el pH , lo cual no sucede. Por esta razón, atribuyó el efecto anterior a la formación de un nuevo complejo polinuclear con una relación OH/V grande.

Padjowski, ¹⁸ también llevó a cabo medidas de susceptibilidad magnética (NaCl 3.0 M, 20 °C), en los intervalos $0.52 \leq pH \leq 2.82$ y $0.102 \leq B \leq 0.510$ M, encontrando el valor $\mu_{ef} = 2.7$ para el *momento magnético efectivo*, lo cual parece indicar que los electrones d^2 del V(III) se encuentran desapareados, tanto en el ión V^{3+} como en las disoluciones hidrolizadas. Ahora bien, otros iones de transición paramagnéticos al hidrolizarse formando dímeros pierden su paramagnetismo, ²⁷⁻³⁰ lo cual ha sido atribuido a la presencia de puentes metal-O-metal.¹⁹ Puesto que las disoluciones hidrolizadas de V(III) no pierden el paramagnetismo, Padjowski llegó a la conclusión que el dímero debe poseer la estructura $[V_2(OH)_2]^{4+}$ en lugar de $[V_2O]^{4+}$. Sin embargo, recientemente, Kanamori ²⁷ a partir de un estudio del comportamiento de las disoluciones de V(III) vs. pH por espectrometría Raman, ha concluido que dicho dímero debe poseer un puente μ -oxo, en lugar de la estructura bis- μ -hidroxo propuesta por Padjowski.

Mateo y Brito ³¹ estudiaron este sistema por medio de medidas de $emf(Pt(H_2))$ (KCl 3.0 M, 25 °C) y en los intervalos $6 \leq B \leq 160$ mM, $0.5 \leq pH \leq 3.25$ y $0 \leq \theta_B \leq 0.85$. El análisis de los datos $\theta_B(pH)_B$ mediante métodos gráficos ²⁷ y de computación digital, ³² indicó la presencia de las especies $[VOH]^{2+}$, $[V_2(OH)_2]^{4+}$ y $[V_2(OH)_3]^{3+}$. Además, puesto que las disoluciones de V(III) medidas fueron preparadas a partir de disoluciones de V(IV) de composición $(\frac{1}{2} VO, H, K)Cl$ 3.0 M reduciendo con H_2 en presencia de Pt platinado y mantenidas en estas condiciones, estos datos también fueron analizados suponiendo que el ión V^{3+} y sus productos de hidrólisis son complejos del ión VO^{2+} e H_2 , de acuerdo a la reacción [3], lo cual permitió además determinar el valor del potencial normal E_o de la pareja V(IV)/V(III).³³



Además, Brito *et al.* ³⁴ determinaron por calorimetría los cambios de entalpía y entropía de las reacciones de hidrólisis del V(III) en las mismas condiciones experimentales (KCl 3.0 M, 25 °C).

Recientemente, Meier *et al.*,³⁵ a partir de medidas de $emf(V(III)/V(II))$, para $B = 1 - 2.5$ mM (NaCl 1.0 M, 25 °C) y medidas $UV-Vis$ (430 nm) para $B = 5-10$ mM en las mismas condiciones, supusieron los complejos $[VOH]^{2+}$, $[V_2(OH)_2]^{4+}$, $[V(OH)_2]^+$, $[V_3(OH)_8]^+$ y $[V_4(OH)_{12}]$.

Buglyo *et al.*,³⁶ empleando medidas de $emf(H, EV)$ y $UV-Vis$ (430 nm) para $B = 0.5-8$ mM, $pH = 1.9-4.5$ (KCl 0.2 M, 25 °C), propusieron las especies $[VOH]^{2+}$, $[V_2(OH)_2]^{4+}$, $[V(OH)_2]^+$ y $[V_3(OH)_8]^+$.

G. Lubes,³⁸ empleando medidas de $emf(H)$ (KCl 3.0M, 25 °C) trabajando en el intervalo de pH entre 3.5 y 6, propuso un modelo constituido por las especies $[VOH]^{2+}$, $[V_2(OH)_2]^{4+}$, $[V(OH)_2]^+$ y $[V_3(OH)_8]^+$, el cual es similar al modelo de Buglyó *et al.*,³⁶ aunque los valores de las constantes de equilibrio obtenidas son algo distintas tomando en cuenta las distintas escalas de actividades utilizadas. Así mismo, igual que estos autores, tampoco encontramos evidencia del tetrámero neutro $V_4(OH)_{12}$, propuesto por Meier *et al.*³⁵

Resumiendo, la mayoría de los resultados de la bibliografía coinciden en que a $pH \leq 2.5$ existen exclusivamente los complejos $[VOH^{2+}]$ y $[V_2(OH)_2^{4+}]$. Sin embargo, a pH superiores está en duda cuales son las especies predominantes, es decir, $[V(OH)_2]^+$,⁷ $[V_2(OH)_3]^{3+}$,^{31,34,37} $[V(OH)_2]^+$, $[V_3(OH)_8]^+$ y $[V_4(OH)_{12}]$,³⁵ $[V(OH)_2]^+$ y $[V_3(OH)_8]^+$ ^{36,38}.

1.3. Química de los aminoácidos

Un aminoácido, como lo indica su nombre, es una molécula que contiene los grupos funcionales carboxilo (-COOH) y amino (-NH₂). Sin embargo, la palabra aminoácido se utiliza más frecuentemente en el campo de la bioquímica para referirse a un grupo de moléculas que, además de contener estos dos grupos funcionales, ambos se encuentran unidos al mismo átomo de carbono, conocido como carbono α .³⁹

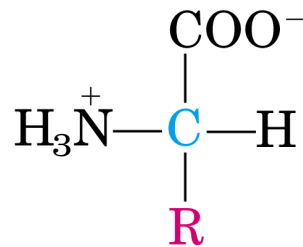


Figura 4. Estructura general de un aminoácido.

Los aminoácidos son compuestos anfóteros, **figura 4**, que contienen un grupo amino que puede existir en forma catiónica como el ión amonio (-NH₃⁺), y un grupo carboxilo ácido, el cual puede existir fácilmente como el anión carboxilato (-COO⁻) .aunque en el estado cristalino sólido todos los aminoácidos existen en formas estables zwitteriónicas de alto punto de fusión, no sucede lo mismo en solución acuosa. Esto se observa más fácilmente al estudiar las diversas formas de equilibrio posibles en solución ácidas, básicas y neutras, como se resume en el **figura 5**.⁴⁰

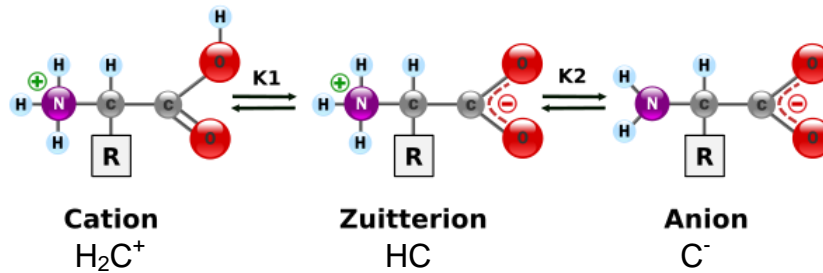


Figura 5. Equilibrios ácido-base de un aminoácido del tipo HC.

En las disoluciones fuertemente ácidas todos los aminoácidos existen en su forma catiónica, en tanto que en disoluciones muy básicas el equilibrio se desplaza cuantitativamente hacia la forma aniónica. En valores de pH intermedio cada uno de los dos equilibrios de interés, presenta una constante de ionización asociada y, por lo tanto, tiene las tres especies [aniónica, ión híbrido (zwitteriónica) y catiónica] presentes en la solución en diversos porcentajes.

Al variar el pH de la disolución es posible desplazar los equilibrios y concentraciones de las diversas especies de interés, el pH en el que resulta una distribución de modo que la concentración de la forma aniónica y catiónica son idénticas, recibe el nombre de punto isoeléctrico y tiene un valor fijo para un aminoácido dado. La posición del punto isoeléctrico depende de la magnitud de las dos constantes de equilibrio y, por tanto, de la acidez del agrupamiento de amonio, la basicidad del grupo carboxilato y la naturaleza del grupo R y su influencia en estos dos equilibrios.⁴¹

Los aminoácidos se clasifican en α , β , γ y δ según la posición del grupo amino con respecto al grupo carboxilo, **figura 4**. Los aminoácidos se polimerizan a través de enlaces peptídico para formar proteínas. Sólo son veinte de los casi 700 aminoácidos conocidos, los constituyentes de estos biopolímeros, por lo que se les considera los más importantes. Se les conoce como α -aminoácidos, porque los grupos amino y carboxilo se encuentran unidos al mismo átomo de carbono, llamado

átomo de carbono α . Ligado a éste se encuentra un grupo variable (R), el cual es el que establece la diferencia entre los α -aminoácidos. ^{40,41}

El efecto del grupo R sobre el punto isoeléctrico da por resultado una amplia gama de valores pH para el equilibrio asociado de cada aminoácido. ³⁹

Los aminoácidos se pueden clasificar según el grupo sustituyente R, **figura 6**

- ❖ **Neutros o apolares.** Son 8 los aminoácidos que se clasifican como poseedores de cadenas laterales no polares. La alanina, valina, leucina e isoleucina, poseen cadenas laterales de hidrocarburos alifáticos. La metionina posee una cadena lateral de éter tiólico (C-S-C). La prolina es el único aminoácido cíclico, pues el grupo -R se cierra sobre el N del grupo α -amino (realmente es un amina secundaria). Por su parte, la fenilalanina y el triptófano contienen grupos aromáticos.
- ❖ **Polares sin carga.** Siete son los α -aminoácidos cuyo resto -R es polar pero sin carga. La glicina posee la cadena más simple, un átomo de hidrógeno. La serina y la treonina son portadores de un grupo hidroxilo (-OH). La asparragina y la glutamina, poseen cadenas laterales portadoras de un grupo amida, y por hidrólisis dan lugar, respectivamente, a aspartato y glutamato, dos aminoácidos con carga negativa. La tirosina posee un grupo fenólico y la cisteína debe su polaridad a la presencia de un grupo tiólico (-SH).
- ❖ **Polares con carga negativa.** Existen dos α -aminoácidos cuyo resto polar posee carga negativa a pH fisiológico, debida a la presencia de un grupo carboxilo (-COOH), el ácido glutámico y el ácido aspártico.
- ❖ **Polares con carga positiva.** Tres son los α -aminoácidos que poseen restos -R cargados positivamente a pH fisiológico. La lisina posee una cadena lateral de butilamónio, la arginina presenta un grupo -R de guanidina y la histidina es la portadora de un grupo -R de imidazolio.

| Polares sin carga | | | | | |
|--------------------------------------|---|--------------------------------|---|---------------------------------|--|
| Serina (Ser) S | $\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{OH} \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$ | Tirosina (Tyr) Y | $\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH} \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$ | Glutamina (Gln) Q | $\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2 \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$ |
| Treonina (Thr) T | $\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}(\text{H})(\text{OH})-\text{CH}_3 \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$ | Cisteína (Cys) C | $\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{SH} \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$ | Asparagina (Asn) N | $\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2 \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$ |
| Polares con carga: ácidos | | Polares con carga: básicos | | | |
| Ácido aspártico (Asp) D | $\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{O}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$ | Lisina (Lys) K | $\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_3^+ \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$ | | |
| Ácido glutámico (Glu) E | $\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{O}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$ | Arginina (Arg) R | $\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{C}(=\text{NH}_2)\text{NH}_2 \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$ | | |
| | | Histidina (His) H | $\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}_4\text{H}_3\text{N}^+ \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$ | | |

Figura 6. Clasificación de los aminoácidos según el grupo R.

Esta clasificación se ha realizado en base al grupo -R, pero es importante indicar que a pH fisiológico ($pH\ 7.3$), el grupo α -amino se encuentra cargado positivamente y el grupo α -carboxilo lo está negativamente, por esta razón en la **figura 6** estos grupos aparecen siempre cargados.

La acidez de los aminoácidos puede racionalizarse en el sentido de Lowry - Bronsted (donador y aceptor protónicos) y describirse con bastante precisión mediante la ecuación de Henderson - Hasselbach.⁴³

$$pH = pK + \log \frac{[\text{sal del ácido}]}{[\text{ácido}]} \quad [4]$$

El pK_a es el logaritmo negativo de la constante de un grupo ionizable. Cuando la proporción de la concentración de la forma sin protonar a la protonada es

igual a 1, el logaritmo de base diez se cancela y pK_a puede definirse como el pH al que las concentraciones de las formas protonada o sin protonar de una especie ionizable es igual. El pK_a es igual al pH también cuando el grupo ionizable está en su mejor capacidad amortiguadora. ⁴³

El pH al cual un aminoácido existe en solución como sal interna recibe el nombre de pH isoelectrónico o sea que el aminoácido es eléctricamente neutro y no muestra tendencia a emigrar a algún electrodo. El pH isoelectrónico de los aminoácidos neutros varía de 4.8 a 6.3, el de los ácidos fluctúa entre 2.8 y 3.2 y el de los aminoácidos básicos oscila entre 7.6 y 10.8. El valor de pK_a del grupo carboxilo α de los aminoácidos neutros es aproximadamente 2-3, y el del grupo amino alfa puede determinarse promediando los valores de pK_a de los dos grupos ionizables. Los aminoácidos que contienen cadenas laterales ácidas o básicas poseen un pK_a característico.

La actividad óptica se presenta en aquellos compuestos que pueden existir en dos formas denominadas enantiómeros y cuyas estructuras son como imágenes especulares, no superponibles; a cada uno de estos isómeros se le llama L – isómero y D – isómero, **figura 7**, denominación basada en la configuración de los carbonos α de los dos estereoisómeros del gliceraldehído. ⁴¹

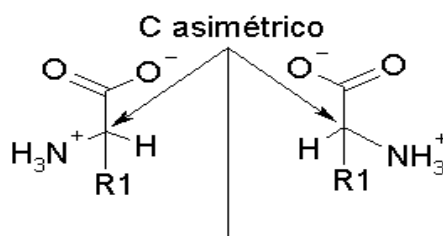


Figura 7. Representación de las imágenes especulares de un α - aminoácido.

Ciertos aminoácidos no protéicos poseen la configuración D; por ejemplo, el ácido D-glutámico, hallado en las paredes celulares de las bacterias.⁴¹

Algunos aminoácidos no proteicos actúan como precursores importantes o intermediarios en el metabolismo; así, la β -alanina es el precursor de la vitamina ácido pantoténico. Otros aminoácidos no protéicos actúan como agentes químicos para la transmisión de los impulsos nerviosos, tal como ocurre con el ácido γ -aminobutírico. Los hongos y las plantas superiores contienen una variedad extraordinaria de aminoácidos, algunos de los cuales poseen estructuras muy curiosas. Las funciones metabólicas de la mayor parte de estos aminoácidos de las plantas no se han comprendido todavía.⁴¹

Los aminoácidos cristalizados poseen un punto de fusión o descomposición relativamente altas; habitualmente por encima de los 200 °C. Son muchos más solubles en el agua, que en disolventes menos polares. Estas propiedades son, precisamente, las que deben esperarse si el retículo de las moléculas de los aminoácidos en estado cristalino está estabilizado por fuerzas electrostáticas de atracción entre grupos con cargas opuestas.⁴¹

Para formar las proteínas, los aminoácidos se unen eliminando agua entre el grupo carboxílico de un aminoácido y el grupo α -amino del siguiente. Este tipo de enlace se llama enlace peptídico y es del tipo de las amidas, **figura 8**.⁴⁴

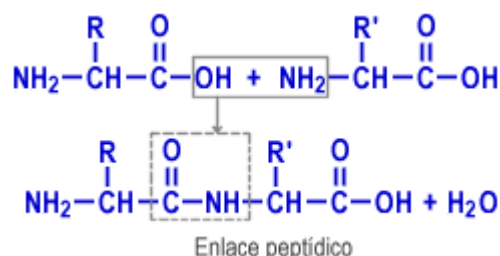


Figura 8. Enlace peptídico de dos aminoácidos.

De esta forma pueden unirse centenares de aminoácidos, dando origen a las cadenas peptídicas. Una proteína puede contener varias cadenas peptídicas.

Las proteínas que aportan todos los aminoácidos esenciales en las proporciones correctas para la nutrición humana se llaman proteínas completas. Son ejemplo de estas proteínas la carne, el pescado, la leche y los huevos. Los adultos requieren aproximadamente 50 g de proteína completa por día.⁴⁴

Las proteínas a las que les falta uno o más aminoácidos esenciales se llaman proteínas incompletas. Si la proteína en la dieta de una persona proviene principalmente de una fuente incompleta, la cantidad de proteína humana que se puede sintetizar queda limitada por las cantidades de los aminoácidos esenciales que faltan. Por lo general las proteínas vegetales son incompletas. El arroz, maíz y trigo son deficientes en lisina. También, el arroz no posee treonina, así como también el maíz no posee triptófano. Los frijoles, De los 20 α -aminoácido el más sencillo es la glicina, gracias a la simplicidad de las cadenas laterales unidas al C α .⁴⁴

Los seres humanos sólo pueden sintetizar aproximadamente la mitad de los aminoácidos que necesitan para fabricar sus proteínas.⁴⁸

Esta naturaleza poli-iónica de las proteínas y los polipéptidos biológicamente activos juega un papel significativo en su estructura total, que a su vez controla su función biológica.⁴⁵

La naturaleza contiene un gran número de péptidos que se encuentran en todos los tipos de organismos. Estructuralmente, constituyen un grupo muy heterogéneo de materiales caracterizados por cadenas cíclicas, cadenas ramificadas, la presencia de D y L-aminoácidos, y en algunos casos aislados, un tipo especial de enlace peptídico. Algunos son hormonas, otros antibióticos,

algunos parecen estar asociados con el almacenamiento del conocimiento adquirido, algunos participan en la regulación de la presión sanguínea y hay muchos más.⁴⁵

1.3.1. Ácido glutámico

El ácido glutámico es uno de los 20 α -aminoácidos que forman parte de las proteínas. Su nombre IUPAC es ácido 2-amino-pentanodioico y su fórmula molecular condensada es $C_5H_9NO_4$. Debido a la presencia de un grupo carboxílico extra en su cadena lateral, como se muestra en su estructura, **figura 9**, con un valor de pK_a distintivamente ácido, se clasifica como un aminoácido ácido. A pH fisiológico de 7, el grupo carboxílico de la cadena lateral está ionizado contribuyendo con una carga negativa completa a la carga neta.⁴⁵

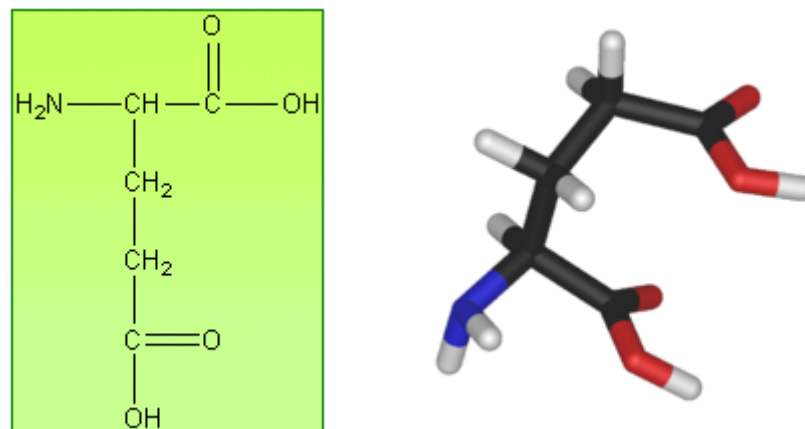


Figura 9. Estructura del ácido glutámico.

El ácido glutámico es un aminoácido no esencial. Es uno de los aminoácidos más abundantes del organismo y un comodín para el intercambio de energía entre los tejidos. Se considera como el neurotransmisor excitatorio por excelencia de nuestra corteza cerebral humana. Su papel como neurotransmisor está mediado por la estimulación de receptores ionotrópicos (canales iónicos) y receptores metabotrópicos (de siete dominios transmembrana y acoplados a proteínas G) de ácido glutámico.⁴⁶

Es un aminoácido dicarboxílico que desempeña un papel central en relación con los procesos de transaminación y en la síntesis de distintos aminoácidos que necesitan la formación previa de este ácido, como es el caso de la prolina, hidroxiprolina, ornitina y arginina. ⁴⁶

Se acumula en proporciones considerables en el cerebro (100-150 mg por 100 g de tejido fresco). Éste mejora las capacidades mentales; ayuda rápidamente a la recuperación de la úlcera; ayuda a evitar la fatiga; ayuda en el control del alcoholismo, esquizofrenia y el ansia por el azúcar. ⁴⁶

Es el elemento principal de compuestos que se utilizan para elevar el rendimiento intelectual, combatir las perturbaciones nerviosas y el agotamiento. ⁴⁷

Varios estudios han demostrado que el estómago, intestino, páncreas y bazo consumen un 95% del ácido glutámico ingerido en la dieta, con lo que es importante tomar una dieta rica en proteínas para no alterar el equilibrio de este aminoácido con acceso al resto del organismo. ⁴¹

El ácido glutámico también es un sustrato para la síntesis de proteínas y un precursor del metabolismo anabólico en el músculo mientras que regula el equilibrio ácido/básico en el riñón y la producción de urea en el hígado. También interviene en el transporte de nitrógeno entre los diferentes órganos. Las células de la mucosa intestinal son voraces consumidoras de este aminoácido al igual que lo requieren como fuente de energía las células del sistema inmunológico. Finalmente, el ácido glutámico es un precursor para la síntesis de ácidos nucleicos (síntesis del ADN) y otras moléculas con alto potencial antioxidante como es la producción del glutatión.

En disolución acuosa puede formar distintas especies cargadas estables, según el pH de la misma. Los diferentes equilibrios que pueden presentarse dependiendo del pH se pueden observar en la **figura 10**. ⁴¹

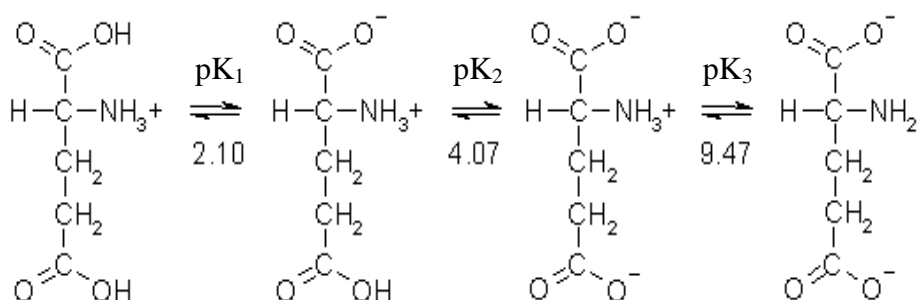


Figura 10. Equilibrios ácido-base del ácido glutámico.

Su sal sódica ácida (glutamato) se usa en la industria alimentaria como potenciador del sabor en sazones y condimentos.⁴¹

Los valores de pK_a del ácido glutámico reportados en la bibliografía en diferentes medios iónicos y temperaturas se presentan en la siguiente **tabla 2**.⁴⁹⁻⁵⁶

Tabla 2. Valores de pK_a del ácido glutámico.

| KCl / °C | pK_{a1} | pK_{a2} | pK_{a3} | Método | Ref. |
|------------|-----------|-----------|-----------|----------------|------|
| 0.2 M / 25 | 2.04 | 4.09 | 9.50 | <i>emf</i> (H) | 49 |
| 0.5 M / 25 | 2.254 | 4.153 | 9.556 | <i>emf</i> (H) | 50 |
| 0.2 M / 25 | 2.12 | 4.11 | 9.51 | cal. | 51 |
| 0.2 M / 20 | 2.14 | 4.08 | 9.52 | <i>emf</i> (H) | 64 |
| 0.2 M / 25 | 2.30 | 4.28 | 9.67 | <i>emf</i> (H) | 52 |
| 3.0 M / 25 | 2.59 | 4.49 | 9.75 | <i>emf</i> (H) | 53 |
| 3.0 M / 25 | 2.59 | 4.49 | 9.75 | <i>emf</i> (H) | 54 |
| 3.0 M / 25 | 2.61 | 4.52 | 9.70 | <i>emf</i> (H) | 56 |

El ácido glutámico actúa como un ligando bidentado ó tridentado para formar quelatos con varios metales como los de transición, los alcalinos y las tierras raras.⁵³

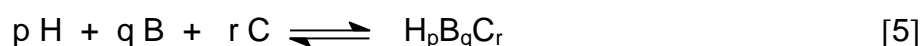
Tabla 3. Valores de $\text{Log } \beta_{\text{por}}$ de los complejos formados entre el V(III) y el ácido glutámico (KCl 3.0 M, 25 °C).⁵⁶

| Complejo | Forma abreviada del complejo | Log β_{por} |
|------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| $[\text{H}_2\text{VC}]^{3+}$ | (0,1,1) | 19.5(1) |
| $[\text{HVC}]^{2+}$ | (-1,1,1) | 17.9(1) |
| $[\text{H}_3\text{VC}_3]$ | (-3,1,3) | -2.3(1) |
| Dispersión | $\sigma(\theta_c)$ | 0.050 ₉ |

2. FUNDAMENTO TEORICO

2.1. Ley de acción de masas

En una disolución acuosa la interacción de varios reactivos H, B y C para formar uno o varios complejos $H_pB_qC_r$, brevemente (p, q, r), según el esquema general de reacciones [5], se cuantifica en el equilibrio para cada uno de ellos por la



Ley de acción de masas (LAM) [6], donde h , b y c son las concentraciones en equilibrio de los reactivos **H**, **B** y **C** y c_{pqr} , β_{pqr} y ϕ_{pqr} representan la concentración, la constante de equilibrio del complejo y el producto de los coeficientes de actividad de las especies involucradas (p, q, r), respectivamente.

$$c_{pqr} = \Phi_{pqr} \beta_{pqr} h^p b^q c^r \quad [6]$$

2.2. Escala de actividades y constantes de estabilidad

Desde los años cincuenta se ha impuesto el uso del método del medio iónico en el estudio de equilibrios de disolución, es decir, en lugar de usar agua como disolvente, utilizar una disolución concentrada de una sal inerte, como KCl 3.0 M y mantener la concentración de las especies reaccionantes, por ejemplo, H^+ , VO^{2+} , H_2C y productos (p, q, r) mucho más baja que la de los iones del medio, es decir, K^+ y Cl^- , entonces es posible emplear concentraciones en lugar de actividades en expresiones termodinámicas como la ley de acción de masas, la ecuación de Nernst, etc. ⁵⁷

Aunque parezca incorrecto, esto es tan válido como lo tradicional, ya que la única diferencia radica en que se está utilizando una escala de actividades diferente. La escala de actividades del medio iónico se define considerando que los

coeficientes de actividad se acercan a la unidad, conforme la composición de la disolución se acerca a la del disolvente, es decir, el medio iónico puro.

Experimentalmente, se ha demostrado que los coeficientes de actividad permanecen constantes e iguales a la unidad, dentro de los errores experimentales, siempre que las concentraciones de los reactivos y productos se mantengan a un nivel inferior a un 20% de la concentración de los iones del medio.⁵⁸

En consecuencia, en la LAM [6] se tiene que $\Phi_{pqr} = 1$ y análogamente al caso clásico de agua como disolvente, las constantes de equilibrio β_{pqr} pueden considerarse como constantes termodinámicas en el medio iónico elegido, por ejemplo, KCl 3.0 M y por tanto, la concentración en equilibrio de un determinado complejo (p, q, r) viene dada por la expresión [7].

$$c_{pqr} = \beta_{pqr} h^p b^q c^r \quad [7]$$

Esta aproximación, se ha demostrado que es termodinámicamente tan correcta como la tradicional. La única diferencia radica en que se utiliza una escala de referencia diferente. En efecto, en disolución la actividad $\{X\}$ se define como el potencial químico μ_x como se escribe en la siguiente ecuación:

$$\mu_x = \mu_x^\circ + RT \ln \{x\} = \mu_x^\circ + RT \ln f_x^* x \quad [8]$$

Al cambiar de una a otra escala de actividades μ_x° se desplaza en una cantidad constante, lo que determina que todas las actividades se multipliquen por un mismo factor, de este modo, la constante de equilibrio para la reacción [5] se define como el valor limite [9].

$$\log \beta_{pqr} = (\log \Phi + \log \beta_{pqr}) = \lim_{\phi \rightarrow 1} \log \beta_{pqr} \quad [9]$$

Cuando se emplea el agua como disolvente, β_{pqr} conocida como constante estequiométrica, realmente no lo es ya que ϕ varía considerablemente con la fuerza iónica; por lo tanto, su valor se calcula extrapolando a fuerza iónica = 0.

En el caso en que se utilice un medio iónico inerte de concentración elevada, si se conservan las concentraciones de reactivos y complejos mucho más bajas que la de los iones del medio, puesto que ϕ se mantiene constante y por definición igual a 1, se obtiene la siguiente ecuación [10].

$$\log \beta_{pqr} = \log \beta_{pqr}^{\circ} \quad [10]$$

En contraste, al caso clásico de la escala de actividades del agua, β_{pqr} puede considerarse como la constante termodinámica β_{pqr}° en el medio iónico inerte elegido como disolvente, cumpliéndose [6]. De aquí la gran ventaja de esta escala de actividades sobre la escala tradicional del agua.⁵⁹

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Estudiar la formación de los complejos de H^+ - V(III) - ácido glutámico, utilizando como medio iónico inerte KCl 3.0 M y a 25°C empleando medidas de $emf(H)$.

3.2. Objetivos específicos

- ❖ Determinar las constantes de acidez del ligando ácido glutámico.
- ❖ Determinar la composición y las constantes de estabilidad de los complejos del sistema H^+ -V(III)-ácido glutámico, empleando varias relaciones ligando:metal R .

4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4.1. Reactivos y disoluciones

Los siguientes reactivos empleados fueron:

- KOH Ampolla Fixanal Riedel-de-Haen 0.100 M
- HCL Ampolla Fixanal Riedel-de-Haen 0.100 M
- Agua tridestilada
- Acido glutámico (Merck p.a.)
- N₂ libre de O₂ y CO₂
- KHC₈H₄O₄ (Merck p.a.)
- KCl comercial recristalizado
- VOSO₄.5H₂O (Merck p.a.)

A partir de los cuales se prepararon las siguientes disoluciones:

Y las siguientes disoluciones:

- **{mi}** = KCl 3.0 M
- **{OH}** = KOH 99.9 mM, KCl 3.0 M
- **{H}** = HCl 100.0 mM, KCl 2.9 M
- **{B}** = V(III) , B₀ = 50.0 mM, KCl 3.0 M (disolución madre)

La disolución **{mi}** se preparó por pesada de KCl y aforo en atmósfera de N₂ libre de CO₂. Las disoluciones **{H}** y **{OH}** se prepararon a partir de ampollas Fixanal, adición de KCl y aforo en atmósfera de N₂ libre de CO₂. La disolución **{B}** se preparó colocando en un reactor provisto de un electrodo de malla de Pt-platinado, una cantidad exactamente pesada de VOSO₄.5H₂O en agua, posteriormente se hizo pasar una corriente de H₂, según la reacción [3] (*vide supra*).

Por último, el ácido glutámico fue añadido al vaso de reacción por pesada. Las disoluciones {OH}, {H} y {B} fueron estandarizadas por métodos reportados en la bibliografía.⁶⁰

4.2. Medidas de $emf(H)$

El método más conveniente para la determinación de las constantes de estabilidad por medio de las medidas de fuerzas electromotrices (emf) debido a que permite medir al menos una de las concentraciones en equilibrio de las especies iónicas en disolución con gran exactitud y sin suposiciones.⁶¹

En este trabajo la concentración de los iones H^+ en equilibrio, h , se determinó mediante la pila [11], donde **REF** = KCl 3.0 M / KCl 3.0 M, Hg_2Cl_2 / Hg, Pt;



EV: electrodo de vidrio

S: disolución problema en equilibrio

A 25 °C el potencial (mV) de la pila [11] viene dado por la ecuación de Nernst [12], siendo E_o el potencial estándar de la pila y J una constante relacionada con el potencial de difusión en la unión líquida //.⁵⁷

$$E = E_o + J h + 59.16 \log h \quad [12]$$

Ahora bien, en disoluciones que sólo contengan ácido o base fuerte, se cumple el balance de H^+ [13], donde K_w es el producto iónico del agua.

$$h = \mathbf{H} + K_W h^{-1} \quad [13]$$

A $\text{pH} < 7$ se tiene que $h = \mathbf{H}$ por lo que la ecuación [12] se transforma en la ecuación [14].

$$E - 59.16 \log \mathbf{H} = E_0 + J \mathbf{H} \quad [14]$$

También se puede aplicar el método de Gran,⁶² suponiendo $J = 0$, ecuación [15] para obtener un valor preliminar de potencial normal E_0 .

$$(v_0 + v) 10^{E/59.16} = 10^{E_0/59.16} (v_0 \mathbf{H}_0 + v \mathbf{A}_T) \quad [15]$$

v_0 = volumen inicial de la disolución $\{\mathbf{H}\}$

v = volumen de la disolución $\{\mathbf{OH}\}$

\mathbf{H}_0 = concentración en H^+ de la disolución $\{\mathbf{H}\}$

\mathbf{A}_T = concentración en OH^- de la disolución $\{\mathbf{OH}\}$

En consecuencia, se puede comprobar el funcionamiento correcto de la pila [11], valorando una alícuota de la solución $\{\mathbf{H}\}$ por adiciones sucesivas de la disolución $\{\text{KOH}\}$, hasta alcanzar el punto de equivalencia.

Valores preliminares de E_0 fueron finalmente ajustados mediante el programa de mínimos cuadrados generalizados LETAGROP.⁵⁸

4.3. Instrumentos de medida

- Electrodo de vidrio con referencia interna Radiometer pHC2401-8
- Potenciómetro Orión 420 A+
- Baño - Termostato de agua fabricado en el CES
- Reactor de vidrio Metrohm EA 876-5
- Material volumétrico calibrado

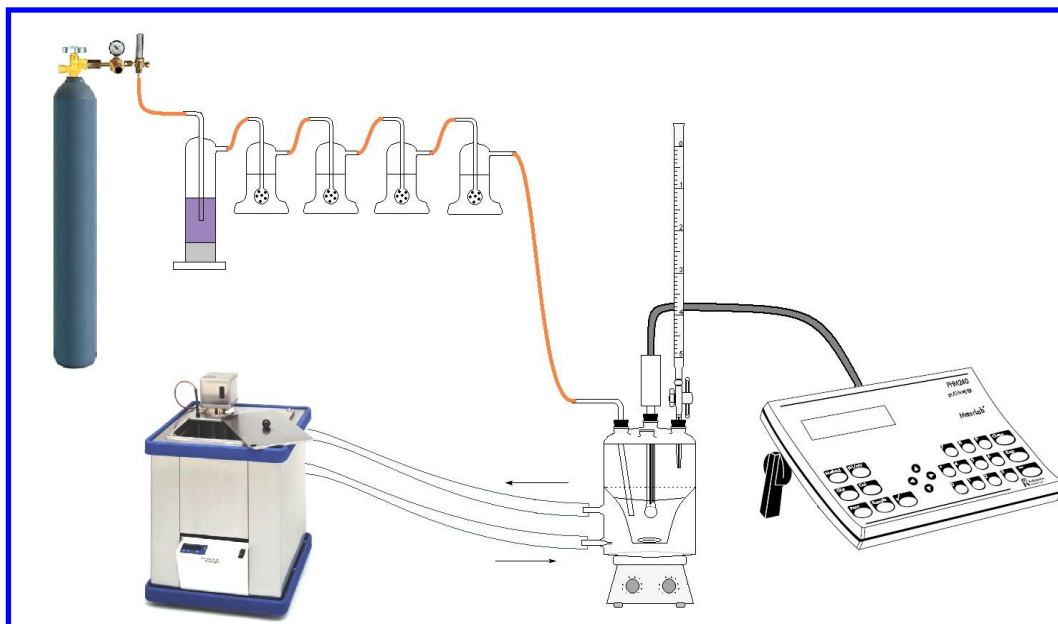


Figura 12. Esquema del equipo empleado.⁵⁴

4.4. Procedimiento de medida

Las medidas de $emf(H)$, se llevaron a cabo valorando una disolución **S** contenida en el reactor, con alícuotas sucesivas de una disolución **T** añadidas desde una bureta. Se utilizó un reactor de vidrio Pyrex de paredes dobles, termostatzado a 25.0 (1) °C, haciendo bombear agua desde un termostato a 25.0 (1) °C. El reactor estaba provisto de una tapa con varias bocas disponibles, en las cuáles se colocaron el electrodo de vidrio, la bureta, la entrada y la salida de gases.

La disolución del reactor se mantuvo agitada magnéticamente bajo atmósfera de N_2 , libre de CO_2 y O_2 , burbujeando el gas a través de una serie de frascos lavadores que contenían disoluciones de V(II) en medio ácido y en presencia de Zn(Hg), HCl 0.1 M, KOH 0.1 M y KCl 3.0 M, con el fin de eliminar O_2 , impurezas básicas, impurezas ácidas y mantener la presión de vapor del medio iónico,

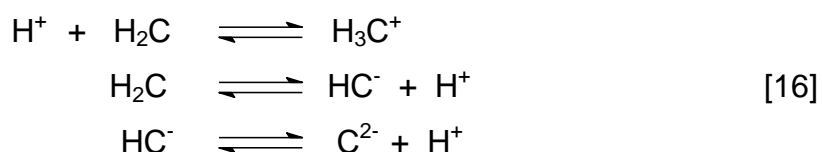
respectivamente. Tanto el equipo, como el operador se mantuvieron en un ambiente termostatzado a 25.0 (1) °C.

Se realizaron varios experimentos, cada uno de los cuales comprendió dos etapas. La *etapa 1*, consistió en una titulación ácido-base fuerte, que permitió determinar los parámetros E_0 y J de la pila REF // **S** / EV. Para ello se colocó en el reactor una alícuota de 5.0 mL de HCl 100.0 mM y 15.0 mL de la disolución {mi}, la cual fue valorada con la disolución {OH} desde una bureta hasta la neutralización, con un seguimiento de los potenciales E en cada adición, obteniéndose así el conjunto de datos $(H, E_0, J(v, E)_{np})_{ns}$.

Luego, sin sacar el electrodo del reactor, a fin de evitar cambios en los parámetros E_0 y J , se añadió la cantidad de ligando y/o metal, según fuera el caso y se procedió con la *etapa 2*.

4.4.1 Sistema H^+ - ácido glutámico

Para el estudio del sistema H^+ - ácido glutámico, una vez finalizada la *etapa 1* se procedió con la *etapa 2* añadiendo una cantidad pesada de ligando para una concentración de 50.0 mM y valorando la disolución resultante con adiciones sucesivas de las disoluciones {H} u {OH}, según sea el caso, determinando los valores de pK_j utilizando el siguiente esquema de reacciones [16]:



De esta manera, se obtuvo el conjunto de datos [17], donde ns es el n° de experimentos y np el n° de puntos en cada experimento, respectivamente,

$$(\mathbf{H}, \mathbf{C}, E_o, J(v, E)_{np})_{ns}, \quad [17]$$

4.4.2. Sistema H^+ - V(III) – ácido glutámico

En el estudio del sistema H^+ - V(III)- ácido glutámico, después de culminar la *etapa 1*, en la *etapa 2* se añadieron una cantidad pesada de ácido glutámico, volúmenes determinados de las disoluciones **{mi}** y **{B}** y agregando entonces desde una bureta porciones de la disolución **{H}** u **{OH}**, según conviniera, con la finalidad de determinar la estequiometría (p, q, r) y las constantes de estabilidad β_{pqr} de las especies formadas de acuerdo al nivel de reacciones [18].



Se estudiaron las relaciones ligando:metal $R = 2, 3, 4, 5$ y 8 . De esta forma se obtuvo el conjunto de datos [19].

$$(\mathbf{H}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, E_o, J(v, E)_{np})_{ns}. \quad [19]$$

4.5. Tratamiento de los datos experimentales

Los datos experimentales [17] y [19] fueron tratados utilizando el programa computacional de mínimos cuadrados generalizados LETAGROP.⁵⁸

En la *etapa 1* se minimizó la función [20] obteniéndose así los valores definitivos de E_o y J de la pila [11].

$$U_1 = \sum (h - H)^2 \quad [20]$$

Los datos [17] y [19] de la *etapa 2* fueron analizados minimizando las funciones [21] - [24] donde θ_B , θ_C representan el número de moles de protones asociados por mol de metal y ligando, respectivamente, mientras que θ_{Bf} y θ_{Cf} son las funciones de formación reducidas, las cuales consisten en separar las contribuciones de reacciones conocidas que ocurren en el sistema y que consumen o liberan protones, por ejemplo, las reacciones ácido-base del ligando y las reacciones de hidrólisis del metal, considerando entonces sólo las reacciones de formación de los complejos metal - ligando. Esto lo ejecuta el programa LETAGROP/FONDO.⁶⁰ Las variables θ_B^* , θ_C^* , θ_{Bf}^* y θ_{Cf}^* representan los respectivos valores calculados.

$$U_2 = \sum (\theta_B - \theta_B^*)^2 \quad [21]$$

$$\theta_B = (H - h) / B$$

$$U_3 = \sum (\theta_C - \theta_C^*)^2 \quad [22]$$

$$\theta_C = (H - h) / C$$

$$U_4 = \sum (\theta_{Bf} - \theta_{Bf}^*)^2 \quad [23]$$

$$\theta_{Bf} = (H - h - (\sum \sum p c_{p01} + \sum \sum p c_{p00})) / (B - \sum \sum c_{p01})$$

$$U_5 = \sum (\theta_{Cf} - \theta_{Cf}^*)^2 \quad [24]$$

$$\theta_{Cf} = (H - h - (\sum \sum p c_{p01} + \sum p c_{p00})) / (C - \sum \sum c_{p01})$$

También fue minimizado el potencial medido E empleando la función [25], donde E^* representa el potencial calculado, según el modelo de complejos supuesto.

$$U_6 = \sum (E - E^*)^2 \quad [25]$$

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Determinación de los parámetros de E_0 y J

En la **tabla 4** se muestra un experimento tipo para la determinación de los parámetros E_0 y J de la pila [11]. Se valoraron 4.99 mL de la disolución **{H}** 100.00 mmol/mL por adiciones sucesivas (vmL) de la base **{OH}** 100.00 mmol/mL. Primero, los datos $E(v)$ fueron tratados utilizando la ec. [15], suponiendo $J = 0$, frente a v mL, **figura 13**.

$$Y [= (v_0 + v)10^{(E - J_H)/59.16}] = 10^{E_0/59.16} (v_0 H_0 - H_T v) \quad [15]$$

A partir de la pendiente de la recta se obtuvo un valor preliminar de E_0 , el cual conjuntamente con J fueron seguidamente ajustados por medio de LETAGROP,⁵⁷ minimizando la función [20].

Tabla 4. Datos de un experimento típico: $v_0 = 4.99$ mL de disolución **{H}** 100.00 mmol/mL + 9.94 mL de **{mi}** vs. v mL de disolución **{OH}** 100.00 mmol/mL. Resultó $E_0 = 378.39$ mV.

| v_{KOH}/mL | E/mV |
|----------------------------|---------------|
| 0.00 | 291.0 |
| 0.51 | 287.1 |
| 1.01 | 283.2 |
| 1.51 | 278.8 |
| 2.00 | 274.2 |
| 2.50 | 268.8 |
| 3.00 | 262.0 |
| 3.50 | 253.7 |
| 3.99 | 242.2 |

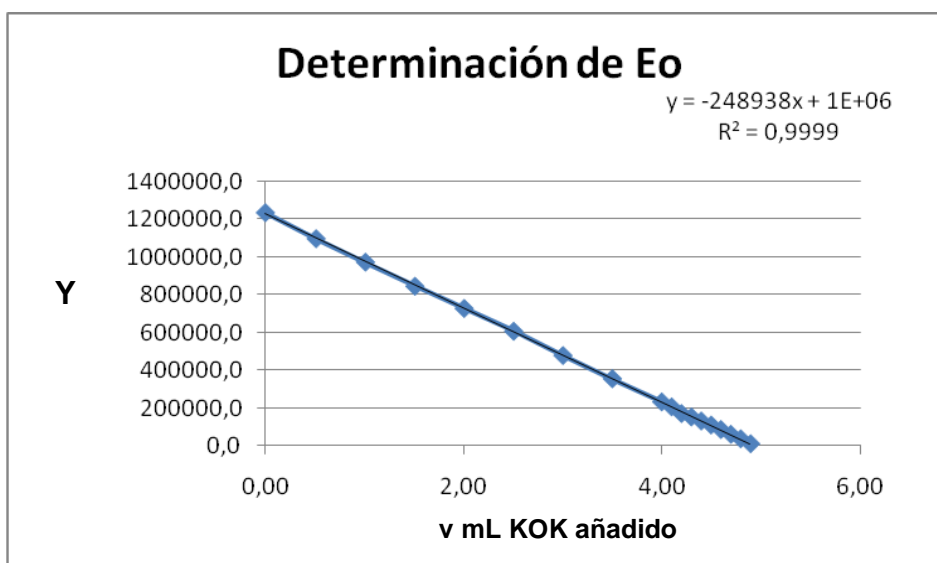


Figura 13. Función de Gran Y, ecuación [15] vs. v mL de base {OH} 100.0 mM.⁶²

5.2. Sistema H^+ - ácido glutámico

En la **figura 14** se representan los datos experimentales $[H, C, E_o, J, (v, E)_{np}]_{ns}$ del sistema H^+ - ácido glutámico ($np= 5, ns= 206$ puntos) obtenidos en este trabajo.

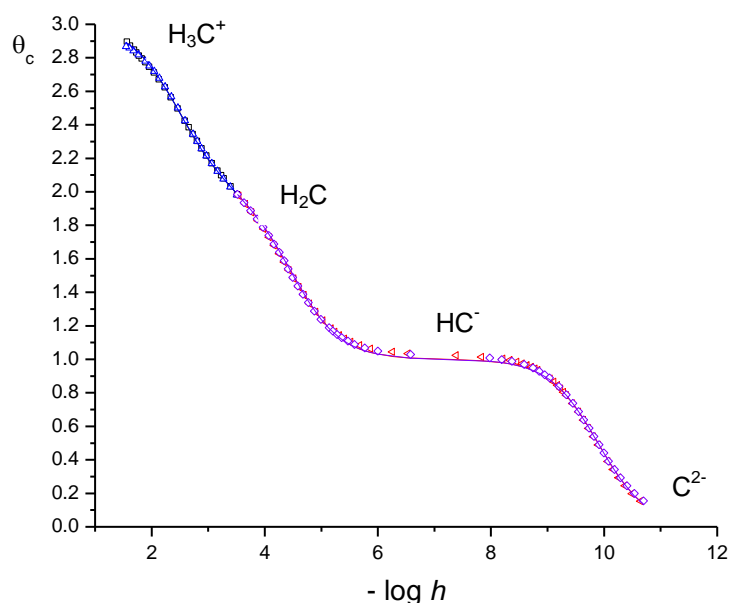


Figura 14. Datos $\theta_c(pH)$ del sistema H^+ - ácido glutámico en KCl 3.0 M y a 25 °C, $C = 50$ mM.

Como es usual, los puntos de la figura representan los datos experimentales y la curva de trazo continuo fue construida suponiendo los valores de pK_a de la **tabla 5**. Se observa un buen ajuste entre los datos teóricos y experimentales. Se observa que en el intervalo $2 \leq pH \leq 5$ hay una inflexión ($\theta_c \sim 3$) correspondiente a la protonación de la especie H_2C para formar la especie ácida H_3C^+ . Se distinguen además 2 inflexiones para $\theta_c = 1$ y 0,1 respectivamente, correspondiente a la pérdida de un protón de la especie H_2C para formar la especie HC^- y la pérdida del segundo protón para dar lugar a la formación del anión C^{2-} .

Tabla 5. Valores de pK_a del sistema H^+ - ácido glutámico (H_2C) obtenidos en este trabajo en KCl 3.0 M y 25 °C.

| Especies | pK_a |
|--|--------------------|
| $H_3C^+ \rightleftharpoons H_2C + H^+$ | 2.46(1) |
| $H_2C \rightleftharpoons H^+ + HC^-$ | 4.49(1) |
| $HC^- \rightleftharpoons H^+ + C^{2-}$ | 9.89(1) |
| $\sigma(\theta_c)$ | 0.011 ₄ |

Se puede observar una buena precisión en los valores de las constantes de formación, así como también un valor bajo de dispersión $\sigma(\theta_c)$.

En la **figura 15** se muestra el diagrama de distribución de especies para este sistema, el cual fue construido con los valores de pK_a de la **tabla 5**. La especie H_2C predomina en el intervalo $2,5 \leq pH \leq 4,5$, el catión H_3C^+ es mayoritario a pH muy ácidos, la especie (HC^-) es mayoritaria en el intervalo $4.5 \leq pH \leq 10$ y la especie básica (C^{2-}) domina a $pH \geq 10$.

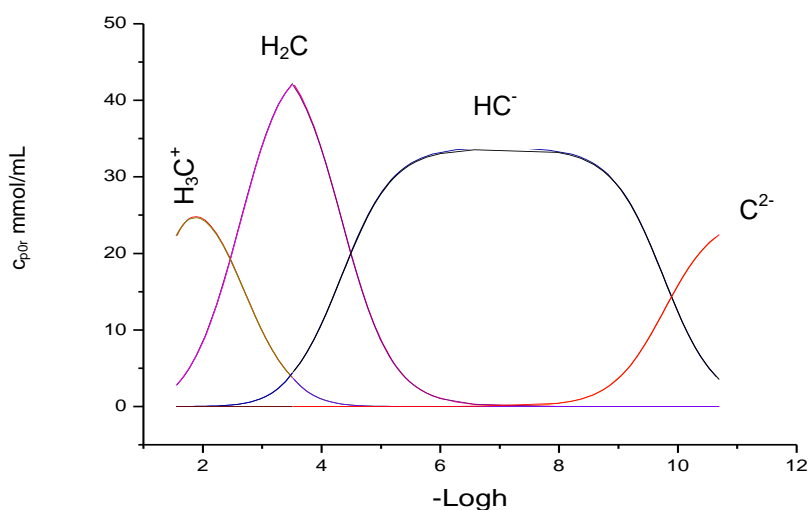


Figura 15. Diagrama de distribución de especies del sistema H^+ - ácido glutámico (KCl 3.0 M, 25 °C), $C = 50$ mM.

Las intersecciones observadas en la figura anterior corresponden a los valores de pK_{a1} , pK_{a2} y pK_{a3} de dicho ligando, mostrados en el **tabla 5**.

La siguiente tabla muestra a modo comparativo los valores de pK_a obtenidos en este trabajo y los reportados por otros autores en las mismas condiciones, KCl 3.0 M y 25 °C.

Tabla 6. Valores de pK_a del sistema H^+ - ácido glutámico (H_2C) obtenidos en este trabajo en KCl 3.0 M y 25 °C en comparación con los reportados en la bibliografía.

| pK_a | H_3C^+ / H_2C | H_2C / HC^- | HC^- / C^{2-} | Ref. | $\sigma(\theta_c)$ |
|--------|-----------------|---------------|-----------------|--------------|--------------------|
| | 2.59(1) | 4.49(2) | 9.75(3) | 53 | 0.06 ₈ |
| | 2.59(1) | 4.49(2) | 9.75(3) | 54 | 0.06 ₈ |
| | 2.52(2) | 4.50(2) | 9.72(5) | 56 | 0.011 ₃ |
| | 2.46() | 4.49() | 9.89() | este trabajo | 0.011 ₄ |

Se obtuvieron valores similares a los reportados por otros autores en las mismas condiciones y las pequeñas diferencias en los valores de los pK_a son atribuidas a la pureza del reactivo empleado o a que en este trabajo se empleo una concentración de ligando $C = 50$ mM.

5.3. Sistema H^+ - V(III) – ácido glutámico

Las **figuras 16 - 19** representan los datos experimentales del sistema H^+ - V(III) – ácido glutámico ($ns = 16$ experimentos, $np = 200$ puntos, $R = 2, 3, 4, 5$ y 8), en términos de $\theta_c(pH)$, $\theta_B(pH)$, $\theta_{cf}(pH)$ y $E(v)$ respectivamente empleando el nivel de reacciones [18]. La **tabla 7** muestra las condiciones experimentales utilizadas.

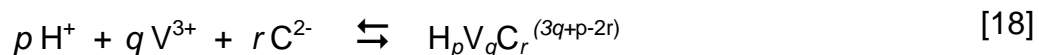


Tabla 7. Condiciones experimentales empleadas en el estudio del sistema H^+ - V(III) – ácido glutámico (KCl 3.0 mM, 25°C)

| ns | S | T | B / mM | R | pH |
|----|------------------------|--------------------|--------|-------|-----------|
| 9 | {B} + H ₂ C | {H ⁺ } | 6 | 2 - 8 | 1.5 – 4.9 |
| 7 | {B} + H ₂ C | {OH ⁻ } | 6 | 2 - 8 | 1.5 – 4.9 |

S = disolución en el reactor

T = disolución titulante

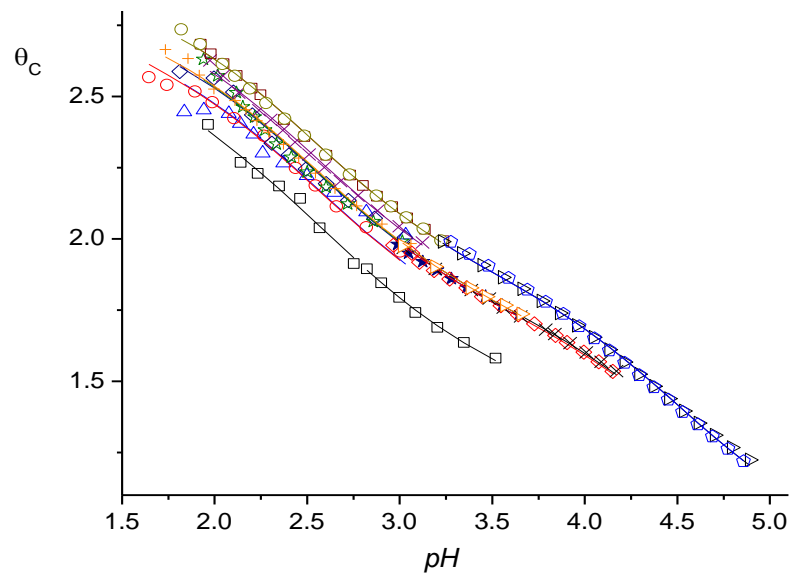


Figura 16. Datos $\theta_c(pH)$ del sistema H^+ - V(III) – ácido glutámico en KCl 3.0 M ya a 25 C, B = 6 mM, R = 2 - 8.

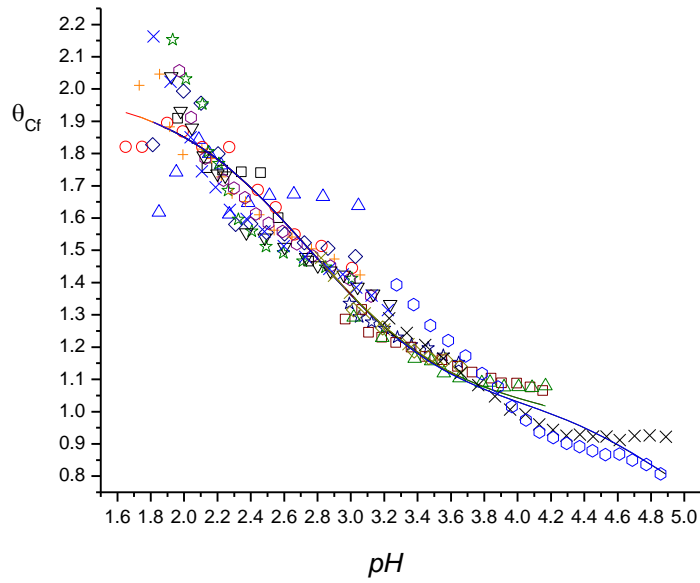


Figura 17. Datos θ_{cf} ($-\log h$) del sistema H^+ - V(III) – ácido glutámico (KCl 3.0 M) ($B=6\text{mM}$) $R = 2 - 8$.

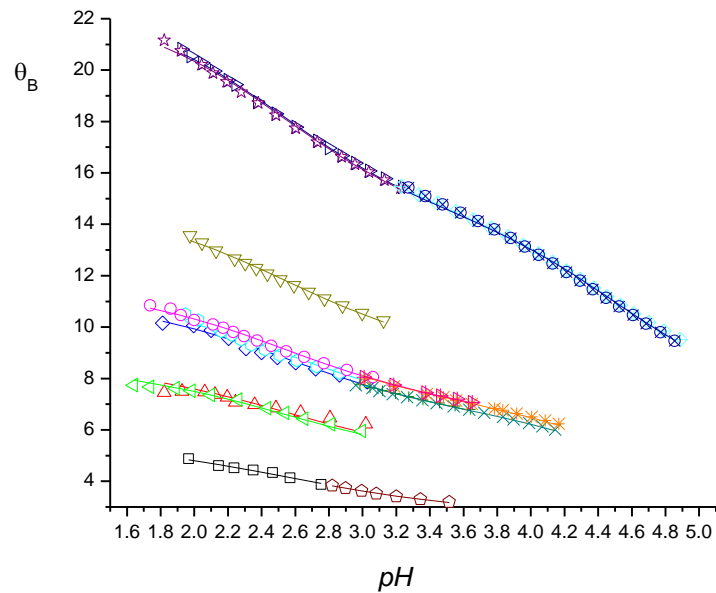


Figura 18. Datos $\theta_B(pH)$ del sistema H^+ - V(III) – ácido glutámico (KCl 3.0 M) ($B = 6\text{mM}$, $R = 2 - 8$).

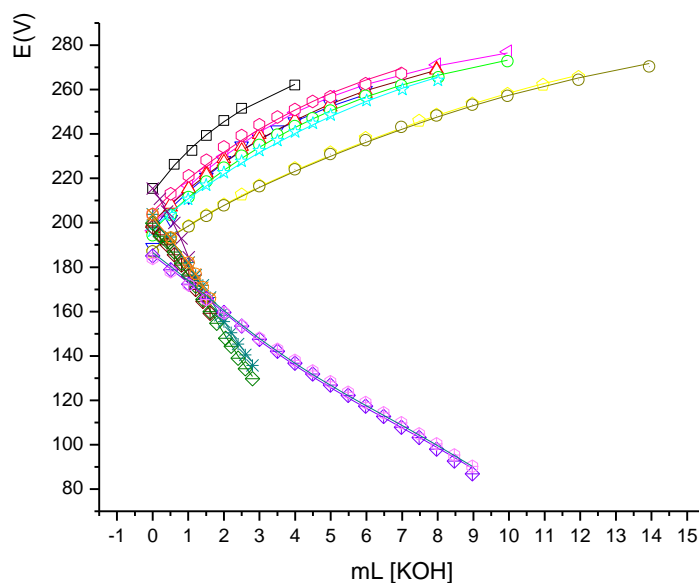


Figura 19. Datos $E(v)$ del sistema H^+ - $V(III)$ – ácido glutámico en KCl 3.0 M y 25 $^{\circ}C$, $B = 6$ mM y $R= 2 - 8$.

Como es usual los puntos representan los valores experimentales y la línea de trazo continuo las correspondientes curvas calculadas suponiendo el modelo que mejor ajustó los datos, en este caso formado por las especies $[H_2VC_2]^+$, $[HVC_2]$, $[H_2VC]^{3+}$ y $[HVC]^{2+}$, cuyas constantes de estabilidad se dan en la **tabla 8**.

En la **figuras 16 – 19** se observa un buen ajuste de datos con el modelo propuesto y los mejores resultados se obtuvieron minimizando la función θ_c .

En la **tabla 8** se muestran los valores de β_{pqr} de las especies encontradas y las dispersiones σ en las diferentes funciones de formación analizadas

Tabla 8. Constantes de estabilidad β_{pqr} de los complejos del sistema $H^+ - V(III) -$ ácido glutámico en KCl 3.0 M y 25 °C, $B = 6\text{mM}$ y $R = 2 - 8$.

| Especies | Log β_{pqr} | | | |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| | | | | |
| $[H_2VC_2]^+$ | 25.5<26.0 | max 26.1 | 25.7<26.1 | 23.8<25.8 |
| $[HVC_2]$ | 21.3(2) | 21.4(3) | 21.4(2) | 21.4(2) |
| $[H_2VC]^{3+}$ | 17,81(5) | 17.88(4) | 17.93(4) | 17.95(3) |
| $[HVC]^{2+}$ | 15.06(5) | 15.12(4) | 15.17(4) | 15.17(0) |
| $\sigma(\theta_B)$ | 0.085 ₆ | | | |
| $\sigma(\theta_C)$ | | 0.019 ₆ | | |
| $\sigma(\theta_{Cf})$ | | | 0.078 ₅ | |
| $\sigma(E) / \text{mV}$ | | | | 1.2 ₈ |

De la tabla anterior se puede deducir que la menor dispersión se obtuvo al analizar la función de formación θ_C . A partir de los valores de β_{pqr} fueron construidos los correspondientes diagramas de distribución, **figuras 20 – 23** para los diferentes valores de la relación ligando:metal R .

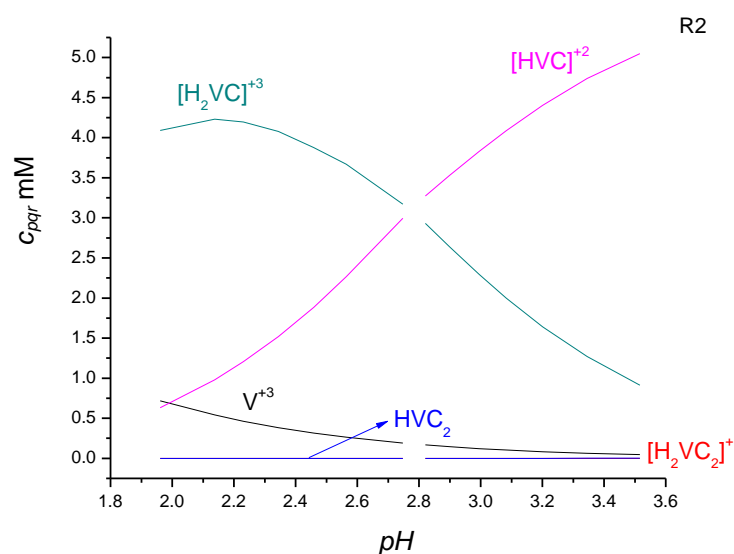


Figura 20. Diagrama de distribución de especies del sistema $H^+ - V(III) -$ ácido glutámico (KCl 3.0 M) ($B = 6 \text{ mmol/mL}$) $R= 2$.

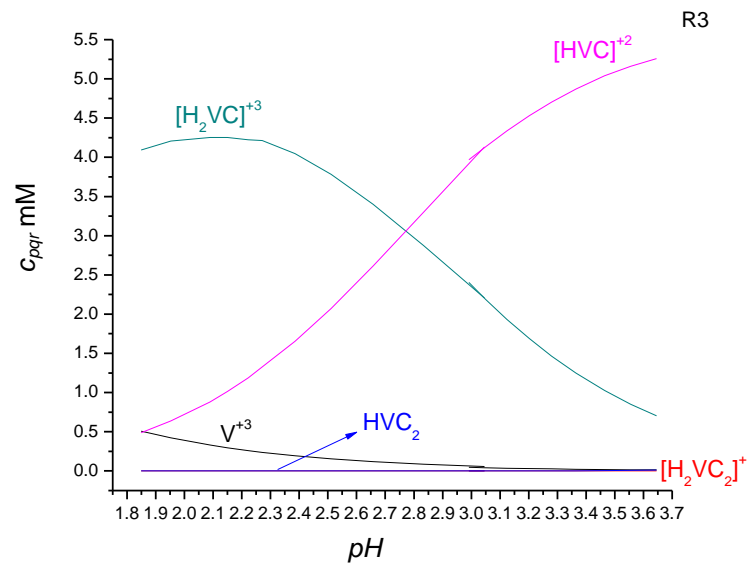


Figura 21. Diagrama de distribución de especies del sistema $H^+ - V(III) - \text{ácido glutámico}$ (KCl 3.0 M) ($B = 6 \text{ mmol/mL}$) $R=3$.

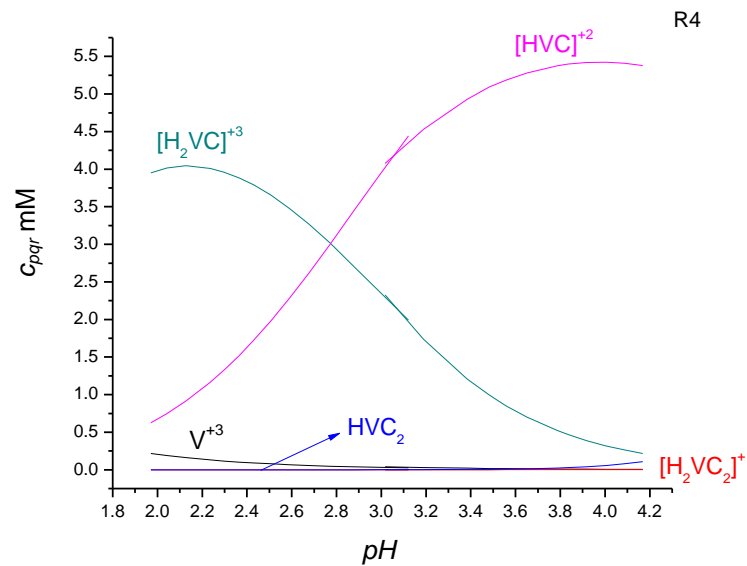


Figura 22. Diagrama de distribución de especies del sistema $H^+ - V(III) - \text{ácido glutámico}$ (KCl 3.0 M) ($B = 6 \text{ mmol/mL}$) $R=4$.

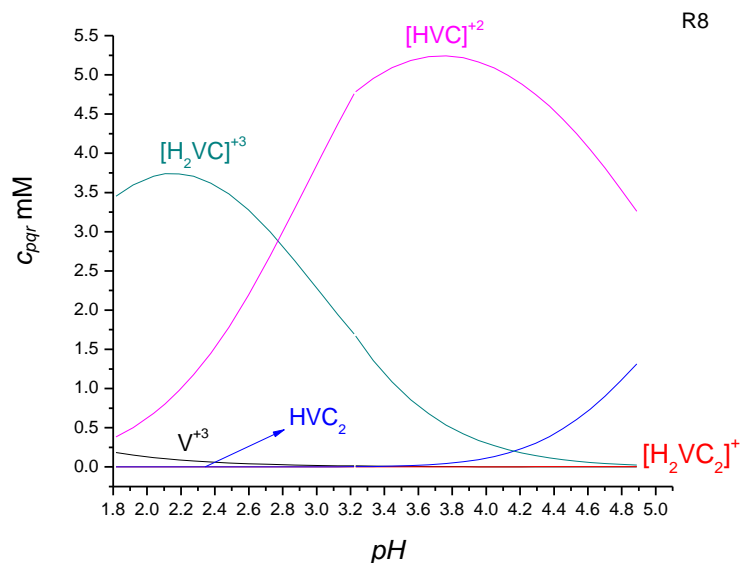


Figura 23. Diagrama de distribución de especies del sistema $H^+ - V(III) - \text{ácido glutámico}$ (KCl 3.0 M) ($B = 6 \text{ mmol/mL}$) $R= 8$.

Para todas las relaciones estudiadas se observa que a $pH \leq 2.8$ predomina la especie $[H_2VC]^{3+}$, coexistiendo con una muy baja cantidad de metal libre V^{3+} . A medida que aumenta el pH se hace predominante la especie $[HVC]^{2+}$ independiente del valor de R . Los complejos $[HVC_2]$ y $[H_2VC_2]^+$ se encuentran en cantidades muy bajas.

A modo comparativo, la siguiente tabla muestra los valores de $\text{Log } \beta_{pOr}$ de los complejos formados entre el V(III) y el ácido glutámico reportados por Mendoza ⁵⁶ y los obtenidos en este trabajo (KCl 3.0 M, 25 °C).

Tabla 9. Tabla comparativa de los valores de $\text{Log } \beta_{\text{pqr}}$ de los complejos formados entre el V(III) y el ácido glutámico reportados por Mendoza y los obtenidos en este trabajo (KCl 3.0 M, 25 °C).⁵⁶

| Especies | Log β_{pqr} | | | |
|------------------------------|---|---|--|---|
| | $[\text{H}_2\text{VC}_2]^+$ | - | max 26.1 | 26.7(3) |
| $[\text{HVC}_2]$ | - | 21.4(3) | 22.4(2) | 22.7(2) |
| $[\text{H}_2\text{VC}]^{3+}$ | 19.5(1) | 17.88(4) | 17.70(9) | 17.92(9) |
| $[\text{HVC}]^{2+}$ | 17.9(1) | 15.12(4) | 14.74(8) | 14.96(8) |
| $[\text{H}_3\text{VC}_3]$ | 40.4(1) | - | - | 39.6 max 40.0 |
| $\sigma(\theta_c)$ | 0.05 ₁ | 0.019 ₆ | 0.045 ₂ | 0.055 ₂ |
| condiciones | B = 2mM, R = 1, 4 y 10 y $1.5 \leq \text{pH} \leq 6$ | B = 6 mM, R = 2, 3, 4, 5 y 8 y $1.8 \leq \text{pH} \leq 4.9$ | | |
| Ref. | Mendoza M. ⁵⁶ | este trabajo | Mendoza y este trabajo sin incluir el complejo $[\text{H}_3\text{VC}_3]$ | Mendoza y este trabajo incluyendo el complejo $[\text{H}_3\text{VC}_3]$ |

Los experimentos preliminares de Mendoza⁵⁶ sugirieron la formación de tres especies, dos de las cuales son comunes a las obtenidas en este trabajo.

Como se observa en las columnas de la tabla anterior, los datos de Mendoza fueron recalculados juntos a los obtenidos en este trabajo (col. 4 y 5) incluyendo y no incluyendo el complejo $[\text{H}_3\text{VC}_3]$. Se observa que la dispersión obtenida en ambos casos (col. 4 y 5) es más alta que la de la columna 3. Una explicación de estos resultados está relacionada con las condiciones del método de medida empleado en cada trabajo. Mendoza reporta el complejo $[\text{H}_3\text{VC}_3]$ en el intervalo $4 \leq \text{pH} \leq 6$ y emplea disoluciones de metal más diluidas, mientras que las medidas experimentales en este trabajo se realizaron justo hasta pH 3.4 y concentraciones de metal mucho más elevadas, de manera que el complejo $[\text{H}_3\text{VC}_3]$ no fue incluido en el análisis de los datos (col. 3, **tabla 9**).

Otra comparación interesante es comparar las especies formadas entre el ácido aspártico y ácido glutámico con el V(III), **tabla 10**.

Tabla 10. Tabla comparativa de las constantes de formación de los complejos formados en los sistemas $H^+ - V(III) - \text{ácido aspártico}$ y $H^+ - V(III) - \text{ácido glutámico}$ reportados en la bibliografía y los obtenidos en este trabajo.

| Especies | Log β_{pqr} $H^+ - V(III) - \text{ácido aspártico}$ | Log β_{pqr} $H^+ - V(III) - \text{ácido glutámico}$ |
|------------------------------|--|--|
| $[H_2VC_2]^+$ | 24.52 (8) | max 26.1 |
| $[HVC_2]$ | 20.42(1) | 21.4(3) |
| $[H_2VC]^{3+}$ | - | 17.88(4) |
| $[HVC]^{2+}$ | 12.89(0.1) | 15.12(4) |
| $[VC]^+$ | 9.83(0.13) | - |
| $[VC_2]^-$ | 17.1(0.1) | - |
| $[(OH)_4V_2C_2]^{6+}$ | -1.69(0.11) | - |
| $(OH)_2V_2C_2$ | 14.51(0.1) | - |
| $[(OH)_3V_2C_3]^-$ | 10.58(0.14) | - |
| $[(OH)_2V_2C_3]^{5-}$ | 17.52(0.13) | - |
| $[(OH)_2V_2C_4]^{4-}$ | 20.32(0.13) | - |
| Método medio iónico °C | <i>emf</i> (H) NaCl 0.5 M, 20 | <i>emf</i> (H) KCl 3.0 M 25 |
| Ref. | 63 | Este trabajo |

Se observa un comportamiento parecido en cuanto a las especies ácidas reportadas para ambos ligandos, con similares constantes de formación, sin embargo Bukietyńska⁶³ trabaja en condiciones más concentradas que las empleadas en este estudio, usando relaciones ligando metal muy altas, condición lograda por el empleo de NaCl 0.5 M y concentraciones de metal mayores que las

de este estudio. Además el ácido glutámico posee un átomo de carbono más que el ácido aspártico en su cadena carbonada, **figura 24**, lo que pudiera favorecer la formación de más especies.



Figura 24. Estructuras del ácido aspártico (a) y ácido glutámico (b).

6. CONCLUSIONES

- ❖ Se determinaron las constantes de acidez del ácido glutámico mediante medidas de $emf(H)$, utilizando como medio iónico KCl 3.0 M y a 25 °C. El análisis de los datos con LETAGROP produjo los siguientes valores de pK_a : $pK_{H_2C/H_3C^+} = 2.46$, $pK_{H_2C/HC^-} = 4.49$ y $pK_{HC^-/C^{2-}} = 9.89$, siendo estos muy similares a los encontrados en la bibliografía.

- ❖ Se estudió el sistema $H^+ - V(III)$ –ácido glutámico, al igual empleando KCl 3.0 M como medio iónico y a 25 °C por medio de medidas $emf(H)$. El análisis de los datos obtenidos se llevó a cabo mediante LETAGROP y LETAGROP/FONDO, se encontraron las siguientes especies: $[H_2VC_2]^+$ ($\beta_{pqr} = 10^{26.1 \text{ max}}$), HVC_2 ($\beta_{pqr} = 10^{21.4(3)}$), $[H_2VC]^{3+}$ ($\beta_{pqr} = 10^{17.88(4)}$) y $[HVC]^{2+}$ ($\beta_{pqr} = 10^{15.12(4)}$).

7. BIBLIOGRAFIA

1. Diccionario Enciclopédico Salvat Universal, Salvat Ed., 15ª Edición, Barcelona, España, Tomo 20, (1981), p.182-183.
2. F.A. Cotton y G. Wilkinson, Química Inorgánica Avanzada, Editorial Limusa, México (1975).
3. J. Babor, Química General Moderna, Manuel Marin y C^{ia}, Editores; 2ª Edición, Barcelona, España, (1935). p. 784.
4. P. Pascal (Ed), Nouveau Traité de Chimie Minerale, Vol. XII, Masson et. C^{ie}, Paris (1958).
5. F.A. Cotton y G. Wilkinson, Química Inorgánica Avanzada, Editorial. Limusa, México (1999).
6. D. Crams, *Comments Inorg. Chem.*, 16, 1 (1994).
7. D. Rehder, *Angew. Chem., Int. Engl.*, 30,148 (1991).
8. E. Hernández, A Escoda, Efecto del Vanadio sobre gallinas ponedoras, Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, Venezuela (2) (1971).
9. E. Baran, *J. Inorg. Biochem.*, 80, 1-10 (2000).
10. D.C. Crans, J.J. Smee, E. Gaidamauskas, L. Yang, *Chem. Rev.* 104 848–902 (2004).
11. R. Meier, M. Boddin, S. Mitzenheim, K. Kanamori, Metal Ions In Biological System, vol. 31, Sigel and Sigel, New York, (1995).
12. L.S. Capella, M.R. Gefe, E.F. Silva, O. Affonso-Mitidieri, A.G. Lopes, V.M. Rumjanek, M.A.M. Capella, *Arch. Biochem. Biophys.* 406 (2002).
13. X.G Yang, X.D. Yang, L. Yuan, K. Wang, D.C. Crans, *Pharm. Res.* 21 (2004).
14. M. Melchior, S.J. Rettig, B.D. Liboiron, K.H. Thompson, V.G. Yuen, J.H. McNeill, Ch. Orvig. *Inorg. Chem.*, 40, 4686-4690 (2001).
15. A. Papaioannou, M. Mahos, S. Karkabounas, R. Liasko, A. Evangelou, I. Corria, V. Kalfakakou, J. Pessoa, T. Cávamos, *J. Inorg. Chem.*, (2004).
16. Thompson, Catherine.; Orvig, Chris. *Coord. Chem. Rev.*, 221 (2001).

17. D. Richey y C. Chem, The Chemistry of Aqua Ions, John Wiley y Sons, Toronto (1997).
18. Pajdowski, L., Jezowska-Trzebiatowska, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 2, 433 (1966).
19. B. Jezowska-Trzebiatowska y L. Pajdowski, *Roc. Chem*, 31, 769 (1957).
20. B. Jezowska-Trzebiatowska y L. Pajdowski, 5ICCC, Londres, (1959), abstr. 129.
21. L. Pajdowski, citado por B. Jezowska-Trzebiatowska y L. Pajdowski, *Roc. Chem*, 34, 787 (1960).
22. J. Gandeboeuf y P. Souchay, *J. Chim. Phys.*, 56, 358 (1959).
23. F. Brito, citado por L.G. Sillén, *Proc. Robert A Welch Found.*, Houston, Texas, 1962; L.G. Sillén y A. Martel, *Stability Constants of Metal-Ion Complexes*, Special Publication n° 17, The Chemical Society, Londres (1964), p. 47.
24. T. Newton y F. Backer, *Inorg. Chem.*, 3, 569 (1964).
25. L. Pajdowski, *Roc. Chem*, 37, 1363 (1963).
26. L. Pajdowski, en *Theory and Structure of Complex Compounds*, Pergamio Press Oxford, (1964), p. 590.
27. L. Mulay y P. Selwood, *J. Am. Chem. Soc.*, 77, 2693 (1955).
28. B. Jezowska-Trzebiatowska y W. Wojciechowski, ref.19, p. 375.
29. G. Haight, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 24, 663 (1962).
30. D. Mellor, *J. Roy. Soc. N. S. Wales*, 7, 145 (1943).
31. S. Mateo y F. Brito, *An. Fís. Quím. (Madrid)*, 64, 115 (1968).
32. N. Ingri y L.G. Sillén, *Acta Chem. Scand.*, 15, 1981 (1961).
33. F. Brito y J. Goncalves, *An. Quím. (Madrid)*, 78, 104 (1982).
34. F. Brito, J. Ascanio, J. Gonçalves y M. Francescetto, *An. Quím. (Madrid)*, 79B, 319.
35. R. Meier, M. Boldin, S. Mitzenhein y K. Kanamori, *Metal Ions Biol. Syst.*, 31, 45 (1995).

- 36.P. Buglyo, D. Crans, E. Nagy, R. Lindo, L. Smee, W. Jin M. Godzala y G. Willsky, *Inorg. Chem.*, 44, 5416 (2005).
- 37.F. Brito, J. Ascanio, J. Gonçalves y M. Francescetto, *An. Quím. (Madrid)*, 79B, 319.
- 38.G. Lubes, Complejos de Vanadio(III). Hidrólisis del Ion V^{3+} a pH > 3 (KCl 3.0 M, 25 °C). TEG. Facultad de Ciencias UCV (2006).
- 39.Wingrove A. y Caret R. Química Orgánica. 1era Edición, editorial Harla, México (1984).
- 40.F. Carey, Química Orgánica, 3^{era} edición, Editorial Mc Graw Hill, impreso en España (1999).
- 41.X. Lehninger, Bioquímica, Ediciones Omega, Barcelona, España, 2^a ed., (1982).
- 42.Martín, D. Peter M. Victor R. Harper's, Review Of Biochemistry, 18th edition. Estados Unidos (1981) 641pp.
- 43.Clark, J. Experimental Biochemistry. W.H. Freeman and Co. Estados Unidos (1964) 228 p.p.
- 44.G. Wade, Química Orgánica, 2^a. Edición, Pearson Educación, México (1995).
- 45.R. Bohinsky, Bioquímica, Fondo Educativo Interamericano S.A., EUA, (1978), p.86-87, 92-94.
- 46.R. Tapia, *J. Natural Science Research*, 23, 225 (1980).
- 47.R. Murray, Bioquímica de Harper, Editorial El Manual Moderno, S.A, México, D.F, (1988), p.12, 19.
- 48.D. Marcano, L. Cortés, Fundamentos de Química Orgánica, Ed. Vicerrectorado Académico de la UCV, Caracas, Venezuela, (1998).
- 49.T. Kiss, I. Sovago y I. Toth , *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 1967 (1997).
- 50.H. Scheidegger, W. Felty y D. Leussing, *J. Am. Chem. Soc.*, 92, 808 (1970).
- 51.I. Nagypál, A. Gergely y E. Farkas, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 36,. 699 (1974).

52. R. Lumb y A. Martell, *J. Phys. Chem.*, **57**, 690 (1953).
53. L. Martínez, *Complejos de Vanadio (IV) y aminoácidos. Sistema VO_2^{2+} - ácido glutámico (KCl 3.0 M, 25 °C)*. TEG, Fac. Ciencias. Esc. Química, UCV (2008).
54. R. Espinoza, *Complejos de Vanadio(V) y aminoácidos. Sistema VO_2^+ - ácido glutámico (KCl 3.0 M, 25 °C)*. TEG, Fac. Ciencias. Esc. Química, UCV (2008).
55. M. Singh, M. Srivastava; *J. Inorg. Nucl. Chem.*, vol. 34, p. 567, 2067, 2081 (1972).
56. M. Mendoza, *Estudio del sistema V(III)-glutaciona por medio de medidas de emf(H) en KCl 3.0 M, 25 °C*. TEG, Fac. Ciencias. Esc. Química, UCV (2004).
57. G. Biederman y L.G. Sillén, *Arkiv. Kemi.*, **5**, 425 (1952).
58. L. Sillén, O. Warnquist, *Arkiv. Kemi*, **31**, 15 (1962).
59. L.G. Sillén, *Master Variables and Activity Scales, en Advances in Inorganic Chemistry Series*, 65(3), 45 (1967).
60. F. Brito, M.L. Araujo, V. Lubes, A. D'Ascoli, A. Mederos, A. Gili, S. Domínguez, E. China, R. Hernández, M. T. Armas, E. Baran, *J. Coord. Chem.*, **58**, 501 (2005).
61. F. Brito: *Hidrólisis de Iones Metálicos*, Facultad de Ciencias, UCV (1971).
62. G. Gran: *Analyst.*, **77**, p. 661 (1952).
63. K. Bukietyńska, H. Podsiadły, Z. Karwecka, *Journal of Inorganic Biochemistry*, **94** 317–325 (2003).
64. D. Kovala y M. Demertzis, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 793 (1988).

Apéndice 1. Tablas de datos para el sistema H^+ - ácido glutámico

Experimento 1

| Hs=0.000125 M | Cs=0.05037 | [HCl]= 0.100 M | V₀= 19.89 ml | E₀=377.58±1.71 | J= 10.18±18.21 |
|----------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| V ml | E (mV) | pH | θ_c | θ_{c^*} | Fel |
| 0 | 171.5 | 3.513 | -0.016 | -0.0132 | 0.0027 |
| 0.51 | 178.4 | 3.396 | 0.0329 | 0.0303 | -0.0025 |
| 1.01 | 185.4 | 3.278 | 0.08 | 0.0757 | -0.0043 |
| 1.21 | 188.2 | 3.23 | 0.0985 | 0.0945 | -0.0041 |
| 1.51 | 192 | 3.166 | 0.1263 | 0.1208 | -0.0055 |
| 2 | 198 | 3.065 | 0.1709 | 0.1649 | -0.006 |
| 2.5 | 203.6 | 2.97 | 0.2157 | 0.2091 | -0.0066 |
| 3 | 208.7 | 2.884 | 0.2597 | 0.2522 | -0.0075 |
| 3.5 | 213.6 | 2.801 | 0.3026 | 0.2961 | -0.0065 |
| 3.99 | 218 | 2.727 | 0.3438 | 0.3368 | -0.007 |
| 4.49 | 222.2 | 2.657 | 0.3847 | 0.3774 | -0.0072 |
| 4.99 | 226.4 | 2.586 | 0.4238 | 0.4191 | -0.0047 |
| 5.98 | 234 | 2.458 | 0.497 | 0.4955 | -0.0016 |
| 6.98 | 241 | 2.34 | 0.5642 | 0.565 | 0.0007 |
| 7.97 | 247.4 | 2.232 | 0.6228 | 0.6258 | 0.003 |
| 8.97 | 253.5 | 2.13 | 0.6719 | 0.6799 | 0.008 |
| 9.96 | 258.9 | 2.04 | 0.7123 | 0.7239 | 0.0116 |
| 10.96 | 263.7 | 1.959 | 0.746 | 0.7596 | 0.0136 |
| 11.95 | 267.9 | 1.889 | 0.7728 | 0.788 | 0.0151 |
| 12.95 | 271.6 | 1.828 | 0.7953 | 0.8108 | 0.0155 |
| 13.94 | 274.9 | 1.773 | 0.812 | 0.8295 | 0.0175 |
| 14.94 | 277.6 | 1.728 | 0.8313 | 0.8436 | 0.0123 |
| 15.94 | 280 | 1.689 | 0.8485 | 0.8553 | 0.0069 |
| 17.93 | 284.2 | 1.619 | 0.8728 | 0.874 | 0.0012 |
| 19.92 | 287.5 | 1.565 | 0.8969 | 0.8872 | -0.0097 |

Experimento 2

| Hs=0.000204 M | Cs=0.05026 | [HCl]= 0.100 M | V₀= 19.90 ml | E₀=378.59±0.43 | J= 1.82±5.67 |
|----------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| V ml | E (mV) | pH | θ_c | θ_c* | fel |
| 0 | 171.5 | 3.508 | -0.0182 | -0.0115 | 0.0067 |
| 0.5 | 178.5 | 3.39 | 0.0297 | 0.0327 | 0.003 |
| 1 | 185.5 | 3.271 | 0.0768 | 0.0781 | 0.0013 |
| 1.5 | 191.9 | 3.163 | 0.1233 | 0.122 | -0.0012 |
| 2 | 197.8 | 3.063 | 0.169 | 0.1654 | -0.0036 |
| 2.5 | 203.3 | 2.97 | 0.214 | 0.2089 | -0.0051 |
| 3 | 208.4 | 2.884 | 0.258 | 0.2519 | -0.0061 |
| 3.5 | 213 | 2.807 | 0.3014 | 0.293 | -0.0084 |
| 4 | 217.5 | 2.73 | 0.3435 | 0.3351 | -0.0084 |
| 5 | 225.7 | 2.592 | 0.4242 | 0.4155 | -0.0087 |
| 6.01 | 233.2 | 2.465 | 0.5001 | 0.4911 | -0.009 |
| 7.01 | 240.2 | 2.347 | 0.5678 | 0.561 | -0.0067 |
| 8.01 | 246.6 | 2.239 | 0.6277 | 0.6224 | -0.0053 |
| 9.01 | 252.6 | 2.138 | 0.6785 | 0.6758 | -0.0026 |
| 10.01 | 258.1 | 2.045 | 0.7194 | 0.7213 | 0.0019 |
| 11.01 | 263 | 1.963 | 0.752 | 0.7581 | 0.0061 |
| 12.02 | 267.2 | 1.892 | 0.7804 | 0.7869 | 0.0065 |
| 14.02 | 274.3 | 1.772 | 0.817 | 0.8297 | 0.0127 |
| 16.02 | 279.7 | 1.682 | 0.8422 | 0.8573 | 0.0152 |
| 18.03 | 284 | 1.609 | 0.8585 | 0.8765 | 0.018 |
| 20.03 | 287.5 | 1.551 | 0.8673 | 0.8905 | 0.0232 |

Experimento 3

| Hs=0.000125 M | Cs=0.0502 | [OH]= 0.100 M | V₀= 19.89 ml | E₀=377.83 ± 0.33 | J= 27.74 ± 7616.95 |
|----------------------|------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| V ml | E (mV) | pH | θ_c | θ_c* | fel |
| 0 | 170.2 | 3.541 | -0.0238 | -0.0239 | -0.0001 |
| 0.51 | 162.9 | 3.656 | -0.0737 | -0.0677 | 0.006 |
| 1.01 | 155.8 | 3.77 | -0.1228 | -0.1131 | 0.0097 |
| 1.51 | 149.1 | 3.879 | -0.1721 | -0.1601 | 0.0121 |
| 2 | 142.8 | 3.981 | -0.2207 | -0.2078 | 0.0129 |
| 2.5 | 137.1 | 4.075 | -0.2703 | -0.2545 | 0.0158 |
| 3 | 131.6 | 4.166 | -0.3201 | -0.3029 | 0.0172 |
| 3.5 | 126.1 | 4.257 | -0.3699 | -0.354 | 0.0159 |
| 3.99 | 121 | 4.342 | -0.4188 | -0.4034 | 0.0153 |
| 4.49 | 115.9 | 4.427 | -0.4687 | -0.454 | 0.0146 |
| 4.99 | 110.8 | 4.512 | -0.5186 | -0.505 | 0.0136 |
| 5.49 | 105.3 | 4.605 | -0.5685 | -0.5594 | 0.0092 |
| 5.98 | 100 | 4.694 | -0.6175 | -0.6102 | 0.0073 |
| 6.48 | 94.2 | 4.791 | -0.6675 | -0.6629 | 0.0046 |
| 6.98 | 87.7 | 4.901 | -0.7175 | -0.7173 | 0.0002 |
| 7.48 | 80.3 | 5.025 | -0.7675 | -0.7722 | -0.0047 |
| 7.97 | 71.6 | 5.172 | -0.8165 | -0.8264 | -0.01 |
| 8.17 | 67.6 | 5.239 | -0.8365 | -0.8475 | -0.011 |
| 8.37 | 63 | 5.317 | -0.8565 | -0.8693 | -0.0128 |
| 8.57 | 57.5 | 5.409 | -0.8765 | -0.8918 | -0.0153 |
| 8.77 | 51 | 5.519 | -0.8965 | -0.914 | -0.0175 |
| 8.97 | 41.8 | 5.675 | -0.9165 | -0.9383 | -0.0218 |
| 9.17 | 30.3 | 5.869 | -0.9365 | -0.9598 | -0.0233 |
| 9.37 | 7.4 | 6.256 | -0.9565 | -0.9833 | -0.0268 |
| 9.47 | -9 | 6.534 | -0.9665 | -0.9914 | -0.0249 |
| 9.57 | -59.4 | 7.386 | -0.9765 | -1.0018 | -0.0253 |
| 9.67 | -85.8 | 7.832 | -0.9865 | -1.0082 | -0.0216 |
| 9.77 | -108.1 | 8.209 | -0.9965 | -1.0201 | -0.0236 |
| 9.86 | -115.6 | 8.336 | -1.0055 | -1.0269 | -0.0214 |
| 9.96 | -122.7 | 8.456 | -1.0155 | -1.0352 | -0.0197 |
| 10.06 | -128.2 | 8.549 | -1.0255 | -1.0433 | -0.0178 |
| 10.16 | -133.3 | 8.635 | -1.0355 | -1.0523 | -0.0168 |
| 10.26 | -138 | 8.714 | -1.0455 | -1.0622 | -0.0167 |
| 10.36 | -141.9 | 8.78 | -1.0555 | -1.0717 | -0.0162 |
| 10.46 | -144.8 | 8.829 | -1.0655 | -1.0796 | -0.0141 |
| 10.96 | -157.7 | 9.047 | -1.1154 | -1.125 | -0.0096 |
| 11.16 | -161.3 | 9.108 | -1.1354 | -1.1412 | -0.0058 |
| 11.36 | -165.2 | 9.174 | -1.1553 | -1.1606 | -0.0053 |

| | | | | | |
|-------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 11.56 | -168.5 | 9.23 | -1.1753 | -1.1787 | -0.0034 |
| 11.76 | -171.5 | 9.281 | -1.1953 | -1.1965 | -0.0013 |
| 11.95 | -174.5 | 9.331 | -1.2142 | -1.2156 | -0.0014 |
| 12.45 | -181 | 9.441 | -1.2641 | -1.2615 | 0.0026 |
| 12.95 | -187.4 | 9.549 | -1.3139 | -1.3123 | 0.0015 |
| 13.45 | -192.3 | 9.632 | -1.3637 | -1.3547 | 0.009 |
| 13.94 | -197.6 | 9.722 | -1.4124 | -1.4032 | 0.0092 |
| 14.44 | -202.8 | 9.81 | -1.4621 | -1.4527 | 0.0094 |
| 14.94 | -207.8 | 9.894 | -1.5116 | -1.5012 | 0.0104 |
| 15.94 | -218 | 10.067 | -1.6103 | -1.5991 | 0.0112 |
| 16.43 | -223.4 | 10.158 | -1.6583 | -1.6484 | 0.0099 |
| 16.93 | -229.3 | 10.258 | -1.707 | -1.6988 | 0.0081 |
| 17.43 | -235.9 | 10.369 | -1.755 | -1.75 | 0.005 |
| 17.93 | -243.2 | 10.493 | -1.802 | -1.7994 | 0.0026 |
| 18.42 | -252.2 | 10.645 | -1.8459 | -1.8498 | -0.0039 |

Experimento 4

| Hs=0.000125 M | Cs=0.05037 | [OH]= 0.100 M | V₀= 19.89 ml | E₀= 379.08 ± 0.94 | J= 1.49 ± 4642.65 |
|----------------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| V ml | E (mV) | pH | θ_c | θ_c* | fel |
| 0 | 171.5 | 3.517 | -0.0152 | -0.0149 | 0.0003 |
| 0.5 | 164.3 | 3.634 | -0.0639 | -0.0591 | 0.0048 |
| 1 | 157.1 | 3.751 | -0.113 | -0.1055 | 0.0075 |
| 1.5 | 150.1 | 3.866 | -0.1622 | -0.1543 | 0.0079 |
| 2 | 143.8 | 3.97 | -0.2117 | -0.2023 | 0.0094 |
| 2.5 | 137.8 | 4.07 | -0.2614 | -0.2518 | 0.0096 |
| 3 | 132.3 | 4.161 | -0.3111 | -0.3004 | 0.0107 |
| 3.5 | 126.7 | 4.255 | -0.3609 | -0.3528 | 0.0081 |
| 4 | 121.5 | 4.342 | -0.4107 | -0.4035 | 0.0073 |
| 4.5 | 117.4 | 4.411 | -0.4606 | -0.4443 | 0.0164 |
| 5 | 112.4 | 4.495 | -0.5105 | -0.4945 | 0.0161 |
| 5.51 | 107.2 | 4.582 | -0.5615 | -0.5463 | 0.0152 |
| 6.01 | 101.8 | 4.673 | -0.6114 | -0.5986 | 0.0128 |
| 6.51 | 96 | 4.771 | -0.6614 | -0.6522 | 0.0092 |
| 7.01 | 89.7 | 4.877 | -0.7113 | -0.7061 | 0.0053 |
| 7.51 | 82.7 | 4.994 | -0.7613 | -0.7593 | 0.002 |
| 8.01 | 74.1 | 5.14 | -0.8113 | -0.8155 | -0.0041 |
| 8.21 | 70.2 | 5.206 | -0.8313 | -0.8373 | -0.006 |
| 8.41 | 65.9 | 5.278 | -0.8513 | -0.8589 | -0.0076 |
| 8.61 | 61 | 5.361 | -0.8713 | -0.8806 | -0.0093 |
| 8.81 | 54.5 | 5.471 | -0.8913 | -0.9048 | -0.0135 |
| 9.01 | 47.7 | 5.586 | -0.9113 | -0.9253 | -0.014 |
| 9.21 | 37.1 | 5.765 | -0.9313 | -0.9494 | -0.0181 |
| 9.41 | 23.2 | 6 | -0.9513 | -0.97 | -0.0187 |
| 9.61 | -11.1 | 6.58 | -0.9713 | -0.9924 | -0.0211 |
| 9.81 | -93.9 | 7.98 | -0.9913 | -1.0118 | -0.0205 |
| 9.91 | -106.3 | 8.189 | -1.0013 | -1.0192 | -0.0179 |
| 10.01 | -117.1 | 8.372 | -1.0113 | -1.0292 | -0.0179 |
| 10.21 | -129.8 | 8.587 | -1.0313 | -1.0471 | -0.0158 |
| 10.41 | -139.1 | 8.744 | -1.0512 | -1.0663 | -0.015 |
| 10.61 | -145.7 | 8.855 | -1.0712 | -1.0841 | -0.0129 |
| 10.81 | -151.3 | 8.95 | -1.0912 | -1.1025 | -0.0113 |
| 11.01 | -156.2 | 9.033 | -1.1111 | -1.1214 | -0.0103 |
| 11.52 | -166 | 9.199 | -1.162 | -1.1684 | -0.0063 |
| 12.02 | -173.8 | 9.33 | -1.2119 | -1.2152 | -0.0033 |
| 12.52 | -180.7 | 9.447 | -1.2618 | -1.264 | -0.0023 |
| 13.02 | -186.6 | 9.547 | -1.3116 | -1.311 | 0.0006 |
| 13.52 | -192.2 | 9.641 | -1.3613 | -1.3595 | 0.0018 |
| 14.02 | -197.6 | 9.733 | -1.411 | -1.4092 | 0.0018 |

| | | | | | |
|-------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 14.52 | -202.9 | 9.822 | -1.4606 | -1.4599 | 0.0008 |
| 15.02 | -208 | 9.909 | -1.5101 | -1.5094 | 0.0007 |
| 15.52 | -213.2 | 9.996 | -1.5595 | -1.5597 | -0.0002 |
| 16.02 | -218 | 10.078 | -1.6088 | -1.6051 | 0.0037 |
| 16.52 | -224.2 | 10.182 | -1.6576 | -1.6611 | -0.0035 |
| 17.03 | -230.5 | 10.289 | -1.707 | -1.7137 | -0.0067 |
| 17.53 | -237.2 | 10.402 | -1.7548 | -1.7639 | -0.0091 |
| 18.03 | -245.2 | 10.537 | -1.8012 | -1.8154 | -0.0142 |
| 18.53 | -254.6 | 10.696 | -1.8453 | -1.8643 | -0.019 |

**Apéndice 2. Tablas de datos para el sistema H⁺ - V(III) - ácido glutámico.
Cálculo de θ_c**

Experimento 1

| Hs=0.02670 M | B= 0.00645 | Cs= 0.01308 | [HCl]= 0.100 M | E₀= 380.41 ± 0.00 | J= 1.4900 ± 0.0001 |
|---------------------|-------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_c | θ_c^* | fel |
| 0 | 215.4 | 2.752 | 1.9126 | 1.9327 | 0.0201 |
| 0.61 | 226.3 | 2.567 | 2.0387 | 2.044 | 0.0053 |
| 1.11 | 232.5 | 2.463 | 2.1414 | 2.1076 | -0.0338 |
| 1.51 | 239.3 | 2.348 | 2.1849 | 2.1756 | -0.0093 |
| 2 | 246 | 2.234 | 2.2296 | 2.2399 | 0.0104 |
| 2.5 | 251.5 | 2.141 | 2.2684 | 2.2902 | 0.0218 |
| 3.99 | 262 | 1.964 | 2.4016 | 2.3798 | -0.0218 |

Experimento 2

| Hs= 0.04027 M | B= 0.00645 | Cs= 0.01976 | [HCl]= 0.100M | E₀=377.89 ± 0.00 | J=1.5200 ± 0.0004 |
|----------------------|-------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_c | θ_c^* | fel |
| 0 | 188.9 | 3.033 | 2.0134 | 1.9108 | -0.1027 |
| 0.51 | 201.5 | 2.82 | 2.0942 | 2.0224 | -0.0718 |
| 1.01 | 211.8 | 2.646 | 2.1631 | 2.1227 | -0.0403 |
| 1.51 | 220.5 | 2.499 | 2.2214 | 2.2098 | -0.0116 |
| 2 | 228 | 2.372 | 2.2666 | 2.2837 | 0.0171 |
| 2.5 | 234.7 | 2.259 | 2.3009 | 2.3467 | 0.0459 |
| 3 | 237.6 | 2.21 | 2.3671 | 2.373 | 0.0059 |
| 3.5 | 241.9 | 2.137 | 2.4047 | 2.4103 | 0.0055 |
| 3.99 | 245.5 | 2.076 | 2.4395 | 2.44 | 0.0005 |
| 4.99 | 253.5 | 1.941 | 2.4521 | 2.5009 | 0.0488 |
| 5.98 | 259.7 | 1.836 | 2.4454 | 2.5436 | 0.0981 |

Experimento 3

| Hs= 0.03941 M | B= 0.00649 | Cs= 0.01965 | [HCl]= 0.100M | E0= 378.46 ±0.00 | J= 14.61 ± 0.00 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θc | θc* | fel |
| 0 | 196.4 | 3.002 | 1.9549 | 1.9231 | -0.0318 |
| 0.51 | 207.2 | 2.819 | 2.0402 | 2.0199 | -0.0203 |
| 1.01 | 216.7 | 2.658 | 2.1137 | 2.1123 | -0.0015 |
| 1.51 | 223.4 | 2.545 | 2.1871 | 2.1794 | -0.0077 |
| 2 | 229.8 | 2.438 | 2.2489 | 2.2427 | -0.0062 |
| 3 | 240 | 2.266 | 2.3613 | 2.3401 | -0.0212 |
| 3.99 | 249.6 | 2.104 | 2.4236 | 2.4236 | 0.0001 |
| 4.99 | 256.5 | 1.988 | 2.4793 | 2.4778 | -0.0015 |
| 5.98 | 262.1 | 1.894 | 2.5175 | 2.5181 | 0.0006 |
| 7.97 | 271.1 | 1.743 | 2.5403 | 2.5768 | 0.0366 |
| 9.96 | 277 | 1.645 | 2.5671 | 2.6127 | 0.0456 |

Experimento 4

| Hs= 0.03941 M | B= 0.00649 | Cs= 0.01965 | [HCl]= 0.100M | E₀=378.66 ± 0.00 | J= 1.52 ± 0.00 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θc | θc* | fel |
| 0.01 | 197.3 | 3.028 | 2.0041 | 1.9715 | -0.0325 |
| 0.51 | 207 | 2.864 | 2.0718 | 2.0554 | -0.0164 |
| 1.01 | 215.4 | 2.722 | 2.1346 | 2.1346 | -0.0001 |
| 1.51 | 222.4 | 2.603 | 2.1938 | 2.2036 | 0.0098 |
| 2 | 228.9 | 2.493 | 2.2451 | 2.2685 | 0.0234 |
| 2.5 | 234.4 | 2.401 | 2.2946 | 2.3227 | 0.0282 |
| 3 | 239.8 | 2.309 | 2.3354 | 2.3745 | 0.039 |
| 3.99 | 246 | 2.204 | 2.435 | 2.431 | -0.004 |
| 4.99 | 252.1 | 2.101 | 2.5154 | 2.4828 | -0.0327 |
| 5.98 | 258.3 | 1.996 | 2.5642 | 2.5309 | -0.0333 |
| 7.97 | 269.2 | 1.812 | 2.5876 | 2.6047 | 0.017 |

Experimento 5

| Hs= 0.05189 M | B= 0.00648 | Cs= 0.02589 | [HCl]= 0.100M | E₀= 378.44± 0.00 | J= 1.490± 0.001 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_c | θ_c* | fel |
| 0 | 203.8 | 3.014 | 1.9914 | 1.982 | -0.0094 |
| 0.51 | 213.1 | 2.857 | 2.0601 | 2.0629 | 0.0028 |
| 1.01 | 221.2 | 2.72 | 2.1226 | 2.1393 | 0.0168 |
| 1.51 | 228.1 | 2.603 | 2.1813 | 2.2074 | 0.0261 |
| 2 | 234.2 | 2.5 | 2.2339 | 2.2683 | 0.0344 |
| 2.5 | 239.3 | 2.414 | 2.286 | 2.3187 | 0.0327 |
| 3 | 244.1 | 2.333 | 2.3325 | 2.365 | 0.0325 |
| 3.5 | 247.7 | 2.272 | 2.3819 | 2.3987 | 0.0167 |
| 3.99 | 251 | 2.216 | 2.427 | 2.4285 | 0.0015 |
| 4.49 | 254.7 | 2.153 | 2.4628 | 2.4607 | -0.0022 |
| 4.99 | 256.8 | 2.118 | 2.5132 | 2.4783 | -0.035 |
| 5.98 | 262.7 | 2.018 | 2.5719 | 2.5249 | -0.047 |
| 6.98 | 267.3 | 1.94 | 2.6298 | 2.5584 | -0.0714 |

Experimento 6

| Hs= 0.05279 M | B= 0.00648 | Cs= 0.02634 | [HCl]= 0.100M | E₀= 378.02 ± 0.00 | J=1.5400±0.0003 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_c | θ_c* | fel |
| 0 | 194.3 | 3.06 | 1.9829 | 1.9636 | -0.0193 |
| 0.51 | 203.5 | 2.904 | 2.0523 | 2.0411 | -0.0112 |
| 1.01 | 211.6 | 2.767 | 2.1159 | 2.1158 | -0.0002 |
| 1.51 | 218.5 | 2.65 | 2.1762 | 2.1829 | 0.0067 |
| 2 | 224.8 | 2.544 | 2.2301 | 2.2457 | 0.0155 |
| 2.5 | 230.1 | 2.454 | 2.2832 | 2.2984 | 0.0152 |
| 3 | 235 | 2.371 | 2.3316 | 2.3464 | 0.0147 |
| 3.5 | 239.7 | 2.292 | 2.3738 | 2.3909 | 0.0171 |
| 3.99 | 243.5 | 2.228 | 2.4147 | 2.4256 | 0.0109 |
| 4.49 | 247 | 2.169 | 2.4536 | 2.4563 | 0.0027 |
| 4.99 | 250.5 | 2.109 | 2.4852 | 2.4857 | 0.0004 |
| 5.98 | 257.2 | 1.996 | 2.5259 | 2.5378 | 0.0118 |
| 6.98 | 261.9 | 1.917 | 2.5749 | 2.5712 | -0.0037 |
| 8.02 | 265.5 | 1.856 | 2.6333 | 2.5952 | -0.0381 |
| 9.96 | 272.7 | 1.734 | 2.6649 | 2.6389 | -0.026 |

Experimento 7

| Hs= 0.06719 M | B= 0.00649 | Cs= 0.03351 | [HCl]= 0.100M | E₀= 378.93 ± 0.00 | J= 1.5200 ± 0.0001 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_c | θ_c* | fel |
| 0 | 196.2 | 3.123 | 1.9869 | 1.9774 | -0.0095 |
| 0.5 | 203.7 | 2.997 | 2.0438 | 2.0366 | -0.0072 |
| 1 | 210.6 | 2.88 | 2.0987 | 2.096 | -0.0028 |
| 1.5 | 216.9 | 2.773 | 2.1514 | 2.154 | 0.0025 |
| 2 | 222.5 | 2.679 | 2.2022 | 2.2079 | 0.0057 |
| 2.5 | 227.6 | 2.593 | 2.2508 | 2.2584 | 0.0075 |
| 3 | 232.5 | 2.51 | 2.2963 | 2.3073 | 0.011 |
| 3.5 | 237 | 2.434 | 2.3391 | 2.3519 | 0.0128 |
| 4 | 240.9 | 2.368 | 2.3807 | 2.39 | 0.0093 |
| 4.5 | 244.8 | 2.302 | 2.418 | 2.4272 | 0.0091 |
| 5 | 248.5 | 2.239 | 2.4519 | 2.4612 | 0.0093 |
| 6.01 | 255 | 2.129 | 2.5135 | 2.5177 | 0.0042 |
| 7.01 | 260 | 2.045 | 2.5721 | 2.5577 | -0.0143 |
| 8.01 | 264.2 | 1.974 | 2.6262 | 2.589 | -0.0372 |

Experimento 8

| Hs= 0.10079 M | B= 0.00649 | Cs= 0.05034 | [HCl]= 0.100M | E₀= 375.68 ± 0.00 | J= 91.9400 ± 0.0001 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_c | θ_c* | fel |
| 0 | 186.9 | 3.237 | 1.9929 | 1.9831 | -0.0098 |
| 0.51 | 192.9 | 3.136 | 2.0339 | 2.0257 | -0.0082 |
| 1.01 | 198.5 | 3.041 | 2.0733 | 2.0684 | -0.0049 |
| 1.51 | 203.4 | 2.959 | 2.1124 | 2.1082 | -0.0041 |
| 2 | 208.2 | 2.878 | 2.1496 | 2.1495 | -0.0001 |
| 2.5 | 212.7 | 2.802 | 2.1869 | 2.1901 | 0.0032 |
| 3 | 216.8 | 2.733 | 2.2236 | 2.2285 | 0.0049 |
| 3.99 | 224.5 | 2.604 | 2.2931 | 2.3033 | 0.0102 |
| 4.99 | 231.6 | 2.485 | 2.3589 | 2.3735 | 0.0146 |
| 5.98 | 238.2 | 2.375 | 2.4185 | 2.4379 | 0.0194 |
| 7.48 | 245.9 | 2.248 | 2.5053 | 2.5094 | 0.0041 |
| 7.97 | 248.7 | 2.201 | 2.5284 | 2.5341 | 0.0056 |
| 8.97 | 253.7 | 2.119 | 2.5735 | 2.5759 | 0.0023 |
| 9.96 | 258 | 2.048 | 2.6148 | 2.6093 | -0.0055 |
| 10.96 | 262.2 | 1.98 | 2.649 | 2.6395 | -0.0096 |
| 11.95 | 265.6 | 1.925 | 2.6832 | 2.6622 | -0.021 |

Experimento 9

| Hs= 0.10049 M | B= 0.00649 | Cs= 0.05019 | [HCl]= 0.100M | E₀= 377.34 ± 0.00 | J= 15.3600 ± 0.0002 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_c | θ_c* | fel |
| 0 | 187.1 | 3.224 | 1.994 | 1.9879 | -0.0062 |
| 0.51 | 192.8 | 3.128 | 2.0352 | 2.0288 | -0.0064 |
| 1.01 | 198.3 | 3.035 | 2.0748 | 2.071 | -0.0037 |
| 1.51 | 203.1 | 2.954 | 2.1139 | 2.1103 | -0.0036 |
| 2 | 207.8 | 2.874 | 2.1513 | 2.1511 | -0.0003 |
| 3 | 216.4 | 2.729 | 2.2253 | 2.2307 | 0.0054 |
| 3.99 | 224 | 2.6 | 2.295 | 2.3052 | 0.0102 |
| 4.99 | 230.9 | 2.485 | 2.3613 | 2.3736 | 0.0123 |
| 5.98 | 237.2 | 2.378 | 2.422 | 2.4358 | 0.0138 |
| 6.98 | 243.2 | 2.277 | 2.477 | 2.4929 | 0.0159 |
| 7.97 | 248.3 | 2.191 | 2.5276 | 2.5389 | 0.0113 |
| 8.97 | 253.2 | 2.109 | 2.5718 | 2.5804 | 0.0085 |
| 9.96 | 257.2 | 2.042 | 2.6141 | 2.612 | -0.0021 |
| 11.95 | 264.4 | 1.921 | 2.6833 | 2.6635 | -0.0198 |
| 13.94 | 270.4 | 1.82 | 2.7355 | 2.701 | -0.0345 |

Experimento 10

| Hs= 0.026269 M | B= 0.00647 | Cs= 0.01308 | [KOH]= 0.100M | E₀= 380.02± 0.00 | J=1.50000±0.00001 |
|-----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_c | θ_c* | fel |
| 0 | 215.4 | 2.823 | 1.8946 | 1.8898 | -0.0048 |
| 0.2 | 210.8 | 2.901 | 1.8457 | 1.8459 | 0.0002 |
| 0.41 | 205.1 | 2.997 | 1.794 | 1.7941 | 0.0001 |
| 0.61 | 199.9 | 3.085 | 1.7409 | 1.7498 | 0.0089 |
| 0.81 | 192.9 | 3.204 | 1.689 | 1.6948 | 0.0059 |
| 1.01 | 184.4 | 3.347 | 1.6357 | 1.6351 | -0.0007 |
| 1.21 | 174.3 | 3.518 | 1.5803 | 1.5725 | -0.0078 |

Experimento 11

| Hs= 0.05117 M | B= 0.00646 | Cs= 0.02531 | [KOH]= 0.100M | E₀= 377.73 ± 0.00 | J=1.51000±0.00002 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θc | θc* | fel |
| 0 | 198 | 2.99 | 1.9804 | 1.9895 | 0.0091 |
| 0.21 | 194.5 | 3.049 | 1.9491 | 1.9608 | 0.0117 |
| 0.41 | 190.1 | 3.124 | 1.92 | 1.9264 | 0.0064 |
| 0.61 | 185.5 | 3.202 | 1.8903 | 1.8925 | 0.0022 |
| 0.81 | 180.9 | 3.279 | 1.8599 | 1.8605 | 0.0006 |
| 1.01 | 175.9 | 3.364 | 1.8292 | 1.8275 | -0.0017 |
| 1.21 | 170 | 3.464 | 1.7983 | 1.7904 | -0.0078 |
| 1.41 | 164.6 | 3.555 | 1.7665 | 1.7577 | -0.0088 |
| 1.61 | 159.2 | 3.646 | 1.7342 | 1.7252 | -0.009 |

Experimento 12

| Hs= 0.05111 M | B= 0.00646 | Cs= 0.02528 | [KOH]= 0.100M | E₀= 378.18 ± 0.00 | J=1.52000±0.00005 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θc | θc* | fel |
| 0 | 199.8 | 2.966 | 1.9771 | 2.0015 | 0.0243 |
| 0.21 | 193.9 | 3.066 | 1.9494 | 1.9529 | 0.0035 |
| 0.41 | 191.5 | 3.106 | 1.9178 | 1.9341 | 0.0164 |
| 0.61 | 186.8 | 3.186 | 1.8884 | 1.899 | 0.0107 |
| 0.81 | 181.8 | 3.27 | 1.8584 | 1.8639 | 0.0055 |
| 1.01 | 176.4 | 3.362 | 1.828 | 1.8282 | 0.0002 |
| 1.21 | 171.4 | 3.446 | 1.7966 | 1.7966 | 0.0001 |
| 1.41 | 165.4 | 3.547 | 1.7651 | 1.7601 | -0.005 |
| 1.61 | 159.9 | 3.64 | 1.7329 | 1.7271 | -0.0058 |
| 1.8 | 154.7 | 3.728 | 1.7018 | 1.6956 | -0.0062 |
| 2.05 | 148 | 3.842 | 1.6605 | 1.6539 | -0.0067 |
| 2.2 | 144.3 | 3.904 | 1.6355 | 1.6299 | -0.0056 |
| 2.4 | 138.9 | 3.995 | 1.602 | 1.5932 | -0.0088 |
| 2.6 | 134.2 | 4.075 | 1.5683 | 1.5596 | -0.0087 |
| 2.8 | 129.7 | 4.151 | 1.5344 | 1.5259 | -0.0085 |

Experimento 13

| Hs= 0.05273 M | B= 0.00648 | Cs= 0.02631 | [KOH]= 0.100M | E₀= 378.12 ± 0.00- | J= 2.01 ± 0.00 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_c | θ_c* | fel |
| 0 | 203.8 | 3.019 | 1.9678 | 1.9826 | 0.0148 |
| 0.51 | 193.6 | 3.192 | 1.8944 | 1.9041 | 0.0097 |
| 1.01 | 182.1 | 3.386 | 1.8199 | 1.8265 | 0.0066 |
| 1.21 | 176.3 | 3.484 | 1.7898 | 1.7904 | 0.0006 |
| 1.41 | 171.8 | 3.56 | 1.7586 | 1.7631 | 0.0045 |
| 1.61 | 166.3 | 3.653 | 1.7274 | 1.73 | 0.0026 |
| 1.9 | 158.3 | 3.788 | 1.6816 | 1.681 | -0.0006 |
| 2 | 155.4 | 3.838 | 1.6656 | 1.6626 | -0.003 |
| 2.2 | 150.5 | 3.92 | 1.6334 | 1.6305 | -0.0029 |
| 2.4 | 145.3 | 4.008 | 1.601 | 1.5946 | -0.0064 |
| 2.6 | 140.5 | 4.089 | 1.5684 | 1.5597 | -0.0087 |
| 2.8 | 135.7 | 4.171 | 1.5357 | 1.523 | -0.0128 |

Experimento 14

| Hs= 0.05295 M | B= 0.00646 | Cs= 0.02631 | [KOH]= 0.100M | E₀= 379.18 ± 0.00 | J=1.51000±0.00002 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_c | θ_c* | fel |
| 0 | 203.7 | 3.015 | 1.9751 | 1.985 | 0.01 |
| 0.51 | 193.3 | 3.191 | 1.9021 | 1.9049 | 0.0028 |
| 1.01 | 182.1 | 3.381 | 1.8277 | 1.8293 | 0.0016 |
| 1.21 | 176.9 | 3.469 | 1.7974 | 1.7967 | -0.0006 |
| 1.41 | 171 | 3.568 | 1.7669 | 1.7609 | -0.006 |
| 1.61 | 165.8 | 3.656 | 1.7357 | 1.7296 | -0.006 |

Experimento 15

| Hs= 0.10103 M | B= 0.00649 | Cs= 0.05046 | [KOH]= 0.100M | E₀= 376.47 ± 0.00 | J=37.88000±0.00003 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_c | θ_c* | fel |
| 0 | 185 | 3.231 | 1.99 | 1.9856 | -0.0045 |
| 0.51 | 178.8 | 3.336 | 1.9481 | 1.9441 | -0.0041 |
| 1.01 | 172.3 | 3.446 | 1.9067 | 1.9026 | -0.0041 |
| 1.51 | 165.8 | 3.556 | 1.8649 | 1.8622 | -0.0028 |
| 2 | 159.6 | 3.661 | 1.8236 | 1.8233 | -0.0003 |
| 2.5 | 153.4 | 3.765 | 1.7812 | 1.7831 | 0.0019 |
| 3 | 147.5 | 3.865 | 1.7386 | 1.7427 | 0.0041 |
| 3.5 | 142.1 | 3.957 | 1.6957 | 1.7033 | 0.0075 |
| 3.99 | 136.7 | 4.048 | 1.6537 | 1.6612 | 0.0075 |
| 4.49 | 131.8 | 4.131 | 1.6107 | 1.6206 | 0.01 |
| 4.99 | 126.9 | 4.213 | 1.5676 | 1.5778 | 0.0102 |
| 5.49 | 122.2 | 4.293 | 1.5245 | 1.5349 | 0.0104 |
| 5.98 | 117.4 | 4.374 | 1.4822 | 1.4896 | 0.0074 |
| 6.48 | 112.7 | 4.454 | 1.439 | 1.4443 | 0.0052 |
| 6.98 | 107.9 | 4.535 | 1.3958 | 1.3975 | 0.0017 |
| 7.48 | 103.2 | 4.614 | 1.3526 | 1.3521 | -0.0005 |
| 7.97 | 98 | 4.702 | 1.3102 | 1.3027 | -0.0075 |
| 8.47 | 92.6 | 4.793 | 1.267 | 1.2535 | -0.0135 |
| 8.97 | 86.9 | 4.89 | 1.2237 | 1.2045 | -0.0192 |

Experimento 16

| Hs= 0.10073 M | B= 0.00649 | Cs= 0.05031 | [KOH]= 0.100M | E₀= 377.47 ± 0.00 | J=13.68000±0.00014 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_c | θ_c* | fel |
| 0 | 183.9 | 3.276 | 1.9889 | 1.9673 | -0.0217 |
| 0.51 | 177.9 | 3.377 | 1.9466 | 1.928 | -0.0186 |
| 1.01 | 171.9 | 3.479 | 1.9047 | 1.8902 | -0.0146 |
| 1.51 | 165.5 | 3.587 | 1.8627 | 1.8504 | -0.0123 |
| 2 | 159.4 | 3.69 | 1.8211 | 1.8119 | -0.0093 |
| 2.5 | 153.6 | 3.788 | 1.7785 | 1.7738 | -0.0047 |
| 3 | 147.9 | 3.884 | 1.7357 | 1.7343 | -0.0014 |
| 3.5 | 142.9 | 3.969 | 1.6927 | 1.6974 | 0.0047 |
| 3.99 | 138 | 4.052 | 1.6505 | 1.659 | 0.0085 |
| 4.49 | 133.2 | 4.133 | 1.6073 | 1.6192 | 0.0119 |
| 4.99 | 128.3 | 4.216 | 1.5641 | 1.5763 | 0.0122 |
| 5.49 | 123.6 | 4.295 | 1.5209 | 1.5334 | 0.0126 |
| 5.98 | 119 | 4.373 | 1.4784 | 1.49 | 0.0115 |
| 6.48 | 114.4 | 4.451 | 1.4351 | 1.4456 | 0.0105 |
| 6.98 | 109.8 | 4.529 | 1.3918 | 1.4009 | 0.0091 |
| 7.48 | 104.9 | 4.611 | 1.3484 | 1.3534 | 0.005 |
| 7.97 | 100.3 | 4.689 | 1.3059 | 1.3098 | 0.0038 |
| 8.47 | 95.3 | 4.774 | 1.2625 | 1.2638 | 0.0013 |
| 8.97 | 90.3 | 4.858 | 1.2191 | 1.2201 | 0.001 |

**Apéndice 3. Tablas de datos para el sistema H⁺ - V(III) - ácido glutámico.
Cálculo de θ_b**

Experimento 1

| H_s= 0.02670 M | B= 0.00645 | C_s= 0.01308 | [HCl]= 0.100M | E₀= 380.41 ± 0.00 | J=1.49000±0.00007 |
|---------------------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_b | θ_b^* | fel |
| 0 | 215.4 | 2.754 | 3.8772 | 3.9137 | 0.0365 |
| 0.61 | 226.3 | 2.57 | 4.1336 | 4.1414 | 0.0078 |
| 1.11 | 232.5 | 2.465 | 4.3426 | 4.2722 | -0.0705 |
| 1.51 | 239.3 | 2.35 | 4.4318 | 4.4125 | -0.0192 |
| 2 | 246 | 2.237 | 4.5235 | 4.5457 | 0.0222 |
| 2.5 | 251.5 | 2.144 | 4.6036 | 4.6502 | 0.0467 |
| 3.99 | 262 | 1.966 | 4.8774 | 4.8376 | -0.0398 |

Experimento 2

| H_s= 0.04027 M | B= 0.00645 | C_s= 0.01976 | [HCl]= 0.100M | E₀= 377.89 ± 0.00 | J= 1.5200±0.0008 |
|---------------------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_b | θ_b^* | fel |
| 0 | 188.9 | 3.019 | 6.2228 | 5.8686 | -0.3542 |
| 0.51 | 201.5 | 2.806 | 6.4671 | 6.2145 | -0.2526 |
| 1.01 | 211.8 | 2.632 | 6.6739 | 6.5244 | -0.1496 |
| 1.51 | 220.5 | 2.485 | 6.8475 | 6.7929 | -0.0546 |
| 2 | 228 | 2.358 | 6.9797 | 7.0202 | 0.0405 |
| 2.5 | 234.7 | 2.245 | 7.0772 | 7.2141 | 0.1369 |
| 3 | 237.6 | 2.196 | 7.2757 | 7.2949 | 0.0192 |
| 3.5 | 241.9 | 2.123 | 7.3837 | 7.4095 | 0.0259 |
| 3.99 | 245.5 | 2.062 | 7.4828 | 7.5011 | 0.0184 |
| 4.99 | 253.5 | 1.927 | 7.5007 | 7.6891 | 0.1884 |
| 5.98 | 259.7 | 1.822 | 7.4579 | 7.8216 | 0.3637 |

Experimento 3

| Hs= 0.03941 M B= 0.00649 Cs= 0.01965 [HCl]= 0.100M E₀=378.46 ± 0.00 J=14.6100±0.0003 | | | | | |
|--|---------------|-----------|----------------------|-----------------------|------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_b | θ_b* | fel |
| 0 | 196.4 | 2.995 | 5.9564 | 5.8272 | -0.1292 |
| 0.51 | 207.2 | 2.812 | 6.2133 | 6.1222 | -0.0911 |
| 1.01 | 216.7 | 2.651 | 6.4341 | 6.4037 | -0.0304 |
| 1.51 | 223.4 | 2.538 | 6.6544 | 6.6082 | -0.0462 |
| 2 | 229.8 | 2.431 | 6.8391 | 6.8011 | -0.038 |
| 3 | 240 | 2.259 | 7.1741 | 7.0983 | -0.0758 |
| 3.99 | 249.6 | 2.097 | 7.3549 | 7.3535 | -0.0014 |
| 4.99 | 256.5 | 1.981 | 7.5154 | 7.5196 | 0.0042 |
| 5.98 | 262.1 | 1.887 | 7.6222 | 7.6437 | 0.0215 |
| 7.97 | 271.1 | 1.736 | 7.671 | 7.8259 | 0.1549 |
| 9.96 | 277 | 1.638 | 7.732 | 7.9378 | 0.2058 |

Experimento 4

| Hs= 0.05143 M B= 0.00643 Cs= 0.02523 [HCl]= 0.100M E₀= 378.66 ± 0.00 J=1.52000±0.00005 | | | | | |
|--|---------------|-----------|----------------------|-----------------------|------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_b | θ_b* | fel |
| 0.01 | 197.3 | 3.027 | 7.8664 | 7.7304 | -0.136 |
| 0.51 | 207 | 2.863 | 8.1319 | 8.0602 | -0.0716 |
| 1.01 | 215.4 | 2.721 | 8.3783 | 8.372 | -0.0064 |
| 1.51 | 222.4 | 2.603 | 8.6105 | 8.6439 | 0.0334 |
| 2 | 228.9 | 2.493 | 8.8112 | 8.8996 | 0.0884 |
| 2.5 | 234.4 | 2.4 | 9.0052 | 9.1136 | 0.1085 |
| 3 | 239.8 | 2.308 | 9.1652 | 9.3178 | 0.1526 |
| 3.99 | 246 | 2.204 | 9.5552 | 9.5414 | -0.0138 |
| 4.99 | 252.1 | 2.1 | 9.8702 | 9.7466 | -0.1236 |
| 5.98 | 258.3 | 1.996 | 10.0608 | 9.9379 | -0.1228 |
| 7.97 | 269.2 | 1.811 | 10.1502 | 10.2322 | 0.0819 |

Experimento 5

| Hs= 0.05189 M | B= 0.00648 | Cs= 0.02589 | [HCl]= 0.100M | E₀= 378.44± 0.00 | J=1.4900±0.0005 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_b | θ_b* | fel |
| 0 | 203.8 | 3.02 | 7.9309 | 7.8992 | -0.0316 |
| 0.51 | 213.1 | 2.863 | 8.2062 | 8.2217 | 0.0156 |
| 1.01 | 221.2 | 2.726 | 8.4572 | 8.5272 | 0.0701 |
| 1.51 | 228.1 | 2.609 | 8.6931 | 8.7996 | 0.1065 |
| 2 | 234.2 | 2.506 | 8.9052 | 9.044 | 0.1387 |
| 2.5 | 239.3 | 2.42 | 9.1151 | 9.2468 | 0.1317 |
| 3 | 244.1 | 2.339 | 9.3034 | 9.4334 | 0.13 |
| 3.5 | 247.7 | 2.278 | 9.5028 | 9.5694 | 0.0665 |
| 3.99 | 251 | 2.222 | 9.6852 | 9.6901 | 0.0049 |
| 4.49 | 254.7 | 2.16 | 9.8311 | 9.8203 | -0.0108 |
| 4.99 | 256.8 | 2.124 | 10.0344 | 9.8918 | -0.1426 |
| 5.98 | 262.7 | 2.024 | 10.2749 | 10.0814 | -0.1935 |
| 6.98 | 267.3 | 1.947 | 10.5128 | 10.2183 | -0.2945 |

Experimento 6

| Hs= 0.05279 M | B= 0.00648 | Cs= 0.02634 | [HCl]= 0.100M | E₀=378.02 ± 0.00 | J=1.5400±0.0002 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_b | θ_b* | fel |
| 0 | 194.3 | 3.062 | 8.0472 | 7.9687 | -0.0785 |
| 0.51 | 203.5 | 2.907 | 8.3296 | 8.2836 | -0.046 |
| 1.01 | 211.6 | 2.77 | 8.589 | 8.5875 | -0.0015 |
| 1.51 | 218.5 | 2.653 | 8.8347 | 8.8612 | 0.0264 |
| 2 | 224.8 | 2.547 | 9.0545 | 9.1171 | 0.0626 |
| 2.5 | 230.1 | 2.457 | 9.2711 | 9.3327 | 0.0616 |
| 3 | 235 | 2.374 | 9.4689 | 9.5288 | 0.0599 |
| 3.5 | 239.7 | 2.295 | 9.6413 | 9.7114 | 0.0701 |
| 3.99 | 243.5 | 2.231 | 9.8088 | 9.8538 | 0.045 |
| 4.49 | 247 | 2.172 | 9.9681 | 9.98 | 0.0119 |
| 4.99 | 250.5 | 2.112 | 10.098 | 10.1007 | 0.0027 |
| 5.98 | 257.2 | 1.999 | 10.2669 | 10.3157 | 0.0488 |
| 6.98 | 261.9 | 1.92 | 10.4691 | 10.4541 | -0.0151 |
| 8.02 | 265.5 | 1.859 | 10.7094 | 10.5537 | -0.1558 |
| 9.96 | 272.7 | 1.737 | 10.8458 | 10.7358 | -0.11 |

Experimento 7

| Hs= 0.06719 M | B= 0.00649 | Cs= 0.03351 | [HCl]= 0.100M | E₀= 378.93 ± 0.00 | J= 1.5200±0.0001 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θb | θb* | fel |
| 0 | 196.2 | 3.124 | 10.2522 | 10.1995 | -0.0527 |
| 0.5 | 203.7 | 2.998 | 10.5463 | 10.5054 | -0.0409 |
| 1 | 210.6 | 2.881 | 10.8298 | 10.8124 | -0.0174 |
| 1.5 | 216.9 | 2.774 | 11.1021 | 11.1124 | 0.0103 |
| 2 | 222.5 | 2.68 | 11.3645 | 11.3917 | 0.0272 |
| 2.5 | 227.6 | 2.593 | 11.6157 | 11.6528 | 0.0371 |
| 3 | 232.5 | 2.511 | 11.8505 | 11.9061 | 0.0556 |
| 3.5 | 237 | 2.435 | 12.0719 | 12.1376 | 0.0658 |
| 4 | 240.9 | 2.369 | 12.2871 | 12.3351 | 0.048 |
| 4.5 | 244.8 | 2.303 | 12.4801 | 12.5278 | 0.0478 |
| 5 | 248.5 | 2.24 | 12.6551 | 12.7048 | 0.0496 |
| 6.01 | 255 | 2.13 | 12.974 | 12.9983 | 0.0243 |
| 7.01 | 260 | 2.046 | 13.2772 | 13.207 | -0.0702 |
| 8.01 | 264.2 | 1.975 | 13.5575 | 13.3699 | -0.1875 |

Experimento 8

| Hs= 0.10079 M | B= 0.00649 | Cs= 0.05034 | [HCl]= 0.100M | E₀=375.68 ± 0.00 | J=91.9400±0.0001 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|-------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θb | θb* | fel |
| 0 | 186.9 | 3.237 | 15.4555 | 15.3703 | -0.0852 |
| 0.51 | 192.9 | 3.135 | 15.7732 | 15.7024 | -0.0708 |
| 1.01 | 198.5 | 3.041 | 16.0792 | 16.0345 | -0.0447 |
| 1.51 | 203.4 | 2.958 | 16.3819 | 16.3443 | -0.0376 |
| 2 | 208.2 | 2.878 | 16.6708 | 16.6653 | -0.0055 |
| 2.5 | 212.7 | 2.802 | 16.9602 | 16.981 | 0.0208 |
| 3 | 216.8 | 2.733 | 17.2447 | 17.2796 | 0.035 |
| 3.99 | 224.5 | 2.604 | 17.7837 | 17.8607 | 0.077 |
| 4.99 | 231.6 | 2.485 | 18.294 | 18.4063 | 0.1123 |
| 5.98 | 238.2 | 2.375 | 18.756 | 18.9066 | 0.1506 |
| 7.48 | 245.9 | 2.247 | 19.4293 | 19.4634 | 0.0341 |
| 7.97 | 248.7 | 2.201 | 19.6086 | 19.6552 | 0.0466 |
| 8.97 | 253.7 | 2.119 | 19.9581 | 19.9804 | 0.0223 |
| 9.96 | 258 | 2.048 | 20.278 | 20.2405 | -0.0375 |
| 10.96 | 262.2 | 1.98 | 20.5434 | 20.476 | -0.0673 |
| 11.95 | 265.6 | 1.925 | 20.8082 | 20.6531 | -0.1551 |

Experimento 9

| Hs= 0.10049 M | B= 0.00649 | Cs= 0.05019 | [HCl]= 0.100M | E₀= 377.34 ± 0.00 | J=15.3600±0.0001 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_b | θ_b* | fel |
| 0 | 187.1 | 3.226 | 15.407 | 15.3556 | -0.0514 |
| 0.51 | 192.8 | 3.13 | 15.7254 | 15.6727 | -0.0527 |
| 1.01 | 198.3 | 3.037 | 16.0314 | 16.0001 | -0.0314 |
| 1.51 | 203.1 | 2.955 | 16.3343 | 16.3045 | -0.0298 |
| 2 | 207.8 | 2.876 | 16.6237 | 16.6197 | -0.0039 |
| 3 | 216.4 | 2.731 | 17.1966 | 17.2364 | 0.0398 |
| 3.99 | 224 | 2.602 | 17.7356 | 17.8131 | 0.0775 |
| 4.99 | 230.9 | 2.486 | 18.2494 | 18.3434 | 0.094 |
| 5.98 | 237.2 | 2.38 | 18.7191 | 18.8254 | 0.1062 |
| 6.98 | 243.2 | 2.279 | 19.1453 | 19.2685 | 0.1233 |
| 7.97 | 248.3 | 2.193 | 19.5383 | 19.6261 | 0.0878 |
| 8.97 | 253.2 | 2.111 | 19.8815 | 19.9486 | 0.0671 |
| 9.96 | 257.2 | 2.043 | 20.2097 | 20.1947 | -0.015 |
| 11.95 | 264.4 | 1.922 | 20.7476 | 20.596 | -0.1517 |
| 13.94 | 270.4 | 1.822 | 21.1554 | 20.8892 | -0.2662 |

Experimento 10

| Hs= 0.02627 M | B= 0.00647 | Cs= 0.01308 | [KOH]= 0.100M | E₀= 380.02 ± 0.00 | J=1.50000±0.00002 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_b | θ_b* | fel |
| 0 | 215.4 | 2.82 | 3.8287 | 3.8208 | -0.0079 |
| 0.2 | 210.8 | 2.898 | 3.7301 | 3.7315 | 0.0014 |
| 0.41 | 205.1 | 2.994 | 3.6259 | 3.6263 | 0.0004 |
| 0.61 | 199.9 | 3.082 | 3.5188 | 3.5362 | 0.0175 |
| 0.81 | 192.9 | 3.2 | 3.414 | 3.4246 | 0.0106 |
| 1.01 | 184.4 | 3.344 | 3.3066 | 3.3034 | -0.0032 |
| 1.21 | 174.3 | 3.515 | 3.1947 | 3.1764 | -0.0183 |

Experimento 11

| Hs= 0.05117 M | B= 0.00646 | Cs= 0.02531 | [KOH]= 0.100M | E₀= 377.73 ± 0.00 | J=1.51000±0.00001 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_b | θ_b* | fel |
| 0 | 198 | 2.984 | 7.7614 | 7.7993 | 0.0379 |
| 0.21 | 194.5 | 3.044 | 7.639 | 7.6862 | 0.0472 |
| 0.41 | 190.1 | 3.118 | 7.5253 | 7.5507 | 0.0254 |
| 0.61 | 185.5 | 3.196 | 7.4093 | 7.4171 | 0.0077 |
| 0.81 | 180.9 | 3.274 | 7.2904 | 7.2908 | 0.0004 |
| 1.01 | 175.9 | 3.358 | 7.17 | 7.1608 | -0.0093 |
| 1.21 | 170 | 3.458 | 7.0493 | 7.0147 | -0.0345 |
| 1.41 | 164.6 | 3.549 | 6.9248 | 6.8855 | -0.0393 |
| 1.61 | 159.2 | 3.64 | 6.7985 | 6.7579 | -0.0406 |

Experimento 12

| Hs= 0.05111 M | B= 0.00646 | Cs= 0.02528 | [KOH]= 0.100M | E₀= 378.18±0.00 | J=1.52000±0.00002 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_b | θ_b* | fel |
| 0 | 199.8 | 2.96 | 7.7393 | 7.838 | 0.0987 |
| 0.21 | 193.9 | 3.059 | 7.6313 | 7.6468 | 0.0155 |
| 0.41 | 191.5 | 3.1 | 7.5076 | 7.573 | 0.0654 |
| 0.61 | 186.8 | 3.179 | 7.3928 | 7.4348 | 0.042 |
| 0.81 | 181.8 | 3.264 | 7.2758 | 7.2964 | 0.0206 |
| 1.01 | 176.4 | 3.355 | 7.1569 | 7.1556 | -0.0013 |
| 1.21 | 171.4 | 3.44 | 7.0342 | 7.0314 | -0.0028 |
| 1.41 | 165.4 | 3.541 | 6.9113 | 6.8875 | -0.0238 |
| 1.61 | 159.9 | 3.634 | 6.7852 | 6.7576 | -0.0276 |
| 1.8 | 154.7 | 3.722 | 6.6639 | 6.634 | -0.0299 |
| 2.05 | 148 | 3.835 | 6.5024 | 6.47 | -0.0324 |
| 2.2 | 144.3 | 3.898 | 6.4044 | 6.3758 | -0.0286 |
| 2.4 | 138.9 | 3.989 | 6.2735 | 6.2323 | -0.0413 |
| 2.6 | 134.2 | 4.069 | 6.1415 | 6.1008 | -0.0407 |
| 2.8 | 129.7 | 4.145 | 6.0089 | 5.9688 | -0.0401 |

Experimento 13

| Hs= 0.05273 M | B= 0.00648 | Cs= 0.02631 | [KOH]= 0.100M | E₀= 378.12 ± 0.00 | J=2.01000±0.00001 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_b | θ_b* | fel |
| 0 | 203.8 | 3.015 | 7.9893 | 8.0515 | 0.0622 |
| 0.51 | 193.6 | 3.187 | 7.6917 | 7.7314 | 0.0398 |
| 1.01 | 182.1 | 3.382 | 7.3897 | 7.4148 | 0.0251 |
| 1.21 | 176.3 | 3.48 | 7.2678 | 7.2673 | -0.0004 |
| 1.41 | 171.8 | 3.556 | 7.141 | 7.1559 | 0.0149 |
| 1.61 | 166.3 | 3.649 | 7.0145 | 7.0208 | 0.0063 |
| 1.9 | 158.3 | 3.784 | 6.8283 | 6.8206 | -0.0077 |
| 2 | 155.4 | 3.833 | 6.7637 | 6.7457 | -0.018 |
| 2.2 | 150.5 | 3.916 | 6.6328 | 6.6148 | -0.018 |
| 2.4 | 145.3 | 4.004 | 6.5014 | 6.4688 | -0.0326 |
| 2.6 | 140.5 | 4.085 | 6.3692 | 6.327 | -0.0422 |
| 2.8 | 135.7 | 4.166 | 6.2365 | 6.178 | -0.0585 |

Experimento 14

| Hs= 0.05295 M | B= 0.00646 | Cs= 0.02631 | [KOH]= 0.100M | E₀= 379.18 ± 0.00 | J= 1.51± 0.00 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_b | θ_b* | fel |
| 0 | 203.7 | 3.01 | 8.0454 | 8.0884 | 0.043 |
| 0.51 | 193.3 | 3.186 | 7.7489 | 7.7603 | 0.0114 |
| 1.01 | 182.1 | 3.375 | 7.4461 | 7.4502 | 0.0042 |
| 1.21 | 176.9 | 3.463 | 7.323 | 7.317 | -0.0059 |
| 1.41 | 171 | 3.563 | 7.199 | 7.1703 | -0.0287 |
| 1.61 | 165.8 | 3.651 | 7.0718 | 7.0421 | -0.0297 |

Experimento 15

| Hs= 0.10103 M | B= 0.00649 | Cs= 0.05046 | [KOH]= 0.100M | E₀=376.47000±00002 | J= 37.88 ± 0.00 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_b | θ_b* | fel |
| 0 | 185 | 3.23 | 15.4738 | 15.43 | -0.0438 |
| 0.51 | 178.8 | 3.335 | 15.1479 | 15.1056 | -0.0424 |
| 1.01 | 172.3 | 3.445 | 14.826 | 14.7816 | -0.0444 |
| 1.51 | 165.8 | 3.555 | 14.501 | 14.465 | -0.036 |
| 2 | 159.6 | 3.659 | 14.1798 | 14.1609 | -0.0189 |
| 2.5 | 153.4 | 3.764 | 13.8501 | 13.8463 | -0.0037 |
| 3 | 147.5 | 3.864 | 13.5186 | 13.5305 | 0.0119 |
| 3.5 | 142.1 | 3.955 | 13.1858 | 13.2231 | 0.0373 |
| 3.99 | 136.7 | 4.046 | 12.8589 | 12.8955 | 0.0366 |
| 4.49 | 131.8 | 4.129 | 12.5245 | 12.5802 | 0.0557 |
| 4.99 | 126.9 | 4.212 | 12.1896 | 12.2484 | 0.0588 |
| 5.49 | 122.2 | 4.292 | 11.8544 | 11.9165 | 0.0622 |
| 5.98 | 117.4 | 4.373 | 11.5256 | 11.5668 | 0.0412 |
| 6.48 | 112.7 | 4.452 | 11.1899 | 11.2177 | 0.0278 |
| 6.98 | 107.9 | 4.533 | 10.854 | 10.8588 | 0.0048 |
| 7.48 | 103.2 | 4.613 | 10.5178 | 10.51 | -0.0079 |
| 7.97 | 98 | 4.701 | 10.1884 | 10.1323 | -0.0561 |
| 8.47 | 92.6 | 4.792 | 9.8521 | 9.7555 | -0.0966 |
| 8.97 | 86.9 | 4.888 | 9.5157 | 9.3805 | -0.1353 |

Experimento 16

| Hs= 0.10073 M | B= 0.00649 | Cs= 0.05031 | [KOH]= 0.100M | E₀= 377.47 ± 0.00 | J=13.68000±0.00007 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θb | θb* | fel |
| 0 | 183.9 | 3.272 | 15.4274 | 15.2489 | -0.1785 |
| 0.51 | 177.9 | 3.374 | 15.0994 | 14.9424 | -0.1569 |
| 1.01 | 171.9 | 3.475 | 14.7751 | 14.6474 | -0.1277 |
| 1.51 | 165.5 | 3.583 | 14.4491 | 14.337 | -0.1121 |
| 2 | 159.4 | 3.686 | 14.1272 | 14.0368 | -0.0904 |
| 2.5 | 153.6 | 3.784 | 13.7966 | 13.7403 | -0.0563 |
| 3 | 147.9 | 3.881 | 13.4647 | 13.4327 | -0.0321 |
| 3.5 | 142.9 | 3.965 | 13.1314 | 13.1464 | 0.015 |
| 3.99 | 138 | 4.048 | 12.8042 | 12.8489 | 0.0448 |
| 4.49 | 133.2 | 4.129 | 12.4697 | 12.541 | 0.0713 |
| 4.99 | 128.3 | 4.212 | 12.1348 | 12.2103 | 0.0754 |
| 5.49 | 123.6 | 4.292 | 11.7996 | 11.8795 | 0.0799 |
| 5.98 | 119 | 4.369 | 11.4708 | 11.5457 | 0.0749 |
| 6.48 | 114.4 | 4.447 | 11.135 | 11.2054 | 0.0704 |
| 6.98 | 109.8 | 4.525 | 10.799 | 10.8627 | 0.0637 |
| 7.48 | 104.9 | 4.608 | 10.463 | 10.4998 | 0.0368 |
| 7.97 | 100.3 | 4.685 | 10.1335 | 10.1659 | 0.0324 |
| 8.47 | 95.3 | 4.77 | 9.7971 | 9.8149 | 0.0178 |
| 8.97 | 90.3 | 4.854 | 9.4607 | 9.481 | 0.0203 |

**Apéndice 4. Tablas de datos para el sistema H⁺ - V(III) - ácido glutámico.
Cálculo de θ_{cf} .**

Experimento 1

| Hs=0.02670 M | B= 0.00645 | Cs= 0.01308 | [HCl]= 0.100 M | E₀= 380.41 ± 0.00 | J= 1.4900±0.0001 |
|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_{cf} | θ_{cf}^* | fel |
| 0 | 215.4 | 2.748 | 1.466 | 1.5048 | 0.0388 |
| 0.61 | 226.3 | 2.564 | 1.601 | 1.6092 | 0.0082 |
| 1.11 | 232.5 | 2.459 | 1.7409 | 1.6649 | -0.076 |
| 1.51 | 239.3 | 2.344 | 1.7433 | 1.7211 | -0.0222 |
| 2 | 246 | 2.231 | 1.7479 | 1.7705 | 0.0226 |
| 2.5 | 251.5 | 2.138 | 1.756 | 1.8061 | 0.0502 |
| 3.99 | 262 | 1.961 | 1.909 | 1.8622 | -0.0468 |

Experimento 2

| Hs= 0.04027 M | B= 0.00645 | Cs= 0.01976 | [HCl]= 0.100M | E₀=377.89 ± 0.00 | J=1.5200 ± 0.0004 |
|----------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_{cf} | θ_{cf}^* | fel |
| 0 | 188.9 | 3.046 | 1.6387 | 1.3389 | -0.2998 |
| 0.51 | 201.5 | 2.833 | 1.6664 | 1.4562 | -0.2102 |
| 1.01 | 211.8 | 2.658 | 1.6738 | 1.5563 | -0.1175 |
| 1.51 | 220.5 | 2.511 | 1.6696 | 1.6376 | -0.0319 |
| 2 | 228 | 2.385 | 1.6479 | 1.7021 | 0.0542 |
| 2.5 | 234.7 | 2.271 | 1.6123 | 1.7537 | 0.1414 |
| 3 | 237.6 | 2.222 | 1.7649 | 1.774 | 0.0091 |
| 3.5 | 241.9 | 2.15 | 1.8 | 1.802 | 0.002 |
| 3.99 | 245.5 | 2.089 | 1.844 | 1.8233 | -0.0208 |
| 4.99 | 253.5 | 1.953 | 1.7421 | 1.8641 | 0.122 |
| 5.98 | 259.7 | 1.849 | 1.6176 | 1.8901 | 0.2725 |

Experimento 3

| Hs= 0.03941 M | B= 0.00649 | Cs= 0.01965 | [HCl]= 0.100M | E₀= 378.46 ±0.00 | J= 14.61 ± 0.00 |
|----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_{cf} | θ_{cf}* | fel |
| 0 | 196.4 | 3.007 | 1.4448 | 1.3593 | -0.0855 |
| 0.51 | 207.2 | 2.824 | 1.5134 | 1.461 | -0.0524 |
| 1.01 | 216.7 | 2.664 | 1.5493 | 1.5533 | 0.004 |
| 1.51 | 223.4 | 2.55 | 1.6337 | 1.6166 | -0.0171 |
| 2 | 229.8 | 2.443 | 1.6872 | 1.6732 | -0.014 |
| 3 | 240 | 2.271 | 1.8196 | 1.7538 | -0.0658 |
| 3.99 | 249.6 | 2.109 | 1.8201 | 1.8163 | -0.0039 |
| 4.99 | 256.5 | 1.993 | 1.8688 | 1.853 | -0.0158 |
| 5.98 | 262.1 | 1.899 | 1.8949 | 1.8782 | -0.0167 |
| 7.97 | 271.1 | 1.748 | 1.8207 | 1.9107 | 0.09 |
| 9.96 | 277 | 1.65 | 1.8203 | 1.9275 | 0.1072 |

Experimento 4

| Hs= 0.03941 M | B= 0.00649 | Cs= 0.01965 | [HCl]= 0.100M | E₀=378.66 ± 0.00 | J= 1.52 ± 0.00 |
|----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_{cf} | θ_{cf}* | fel |
| 0.01 | 197.3 | 3.027 | 1.4808 | 1.3481 | -0.1327 |
| 0.51 | 207 | 2.863 | 1.5067 | 1.4384 | -0.0683 |
| 1.01 | 215.4 | 2.721 | 1.523 | 1.5201 | -0.0029 |
| 1.51 | 222.4 | 2.603 | 1.5507 | 1.5875 | 0.0368 |
| 2 | 228.9 | 2.493 | 1.5551 | 1.6472 | 0.0922 |
| 2.5 | 234.4 | 2.4 | 1.5826 | 1.6945 | 0.1119 |
| 3 | 239.8 | 2.309 | 1.5806 | 1.7372 | 0.1566 |
| 3.99 | 246 | 2.204 | 1.7994 | 1.7813 | -0.0181 |
| 4.99 | 252.1 | 2.101 | 1.9561 | 1.8192 | -0.1369 |
| 5.98 | 258.3 | 1.996 | 1.9937 | 1.8522 | -0.1414 |
| 7.97 | 269.2 | 1.812 | 1.8274 | 1.8981 | 0.0707 |

Experimento 5

| Hs= 0.05189 M | B= 0.00648 | Cs= 0.02589 | [HCl]= 0.100M | E₀= 378.44± 0.00 | J= 1.490± 0.001 |
|----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_{cf} | θ_{cf}* | fel |
| 0 | 203.8 | 3.006 | 1.4129 | 1.3594 | -0.0535 |
| 0.51 | 213.1 | 2.849 | 1.4474 | 1.4467 | -0.0007 |
| 1.01 | 221.2 | 2.712 | 1.4664 | 1.5256 | 0.0592 |
| 1.51 | 228.1 | 2.595 | 1.4917 | 1.5919 | 0.1001 |
| 2 | 234.2 | 2.492 | 1.5112 | 1.6478 | 0.1366 |
| 2.5 | 239.3 | 2.406 | 1.5591 | 1.6918 | 0.1327 |
| 3 | 244.1 | 2.325 | 1.5958 | 1.7301 | 0.1344 |
| 3.5 | 247.7 | 2.264 | 1.6851 | 1.7569 | 0.0718 |
| 3.99 | 251 | 2.208 | 1.7689 | 1.7797 | 0.0108 |
| 4.49 | 254.7 | 2.145 | 1.8052 | 1.8035 | -0.0017 |
| 4.99 | 256.8 | 2.11 | 1.9533 | 1.8161 | -0.1373 |
| 5.98 | 262.7 | 2.01 | 2.0314 | 1.8481 | -0.1833 |
| 6.98 | 267.3 | 1.932 | 2.1529 | 1.8698 | -0.2832 |

Experimento 6

| Hs= 0.05279 M | B= 0.00648 | Cs= 0.02634 | [HCl]= 0.100M | E₀= 378.02 ± 0.00 | J= 1.5400±0.0003 |
|----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_{cf} | θ_{cf}* | fel |
| 0 | 194.3 | 3.056 | 1.4238 | 1.3332 | -0.0905 |
| 0.51 | 203.5 | 2.9 | 1.4731 | 1.4175 | -0.0556 |
| 1.01 | 211.6 | 2.763 | 1.5045 | 1.4959 | -0.0086 |
| 1.51 | 218.5 | 2.647 | 1.5417 | 1.5629 | 0.0212 |
| 2 | 224.8 | 2.54 | 1.5628 | 1.6221 | 0.0593 |
| 2.5 | 230.1 | 2.45 | 1.61 | 1.6693 | 0.0593 |
| 3 | 235 | 2.368 | 1.6516 | 1.7101 | 0.0586 |
| 3.5 | 239.7 | 2.288 | 1.6761 | 1.7463 | 0.0702 |
| 3.99 | 243.5 | 2.224 | 1.7281 | 1.7733 | 0.0452 |
| 4.49 | 247 | 2.165 | 1.7845 | 1.7963 | 0.0118 |
| 4.99 | 250.5 | 2.106 | 1.814 | 1.8175 | 0.0035 |
| 5.98 | 257.2 | 1.992 | 1.7971 | 1.8533 | 0.0562 |
| 6.98 | 261.9 | 1.913 | 1.8826 | 1.8747 | -0.0079 |
| 8.02 | 265.5 | 1.852 | 2.0461 | 1.8893 | -0.1568 |
| 9.96 | 272.7 | 1.73 | 2.0111 | 1.914 | -0.097 |

Experimento 7

| Hs= 0.06719 M B= 0.00649 Cs= 0.03351 HCl]= 0.100M E ₀ = 378.93 ± 0.00 J= 1.5200±0.0001 | | | | | |
|---|--------|-------|-----------------|-------------------|---------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ _{cf} | θ _{cf} * | fel |
| 0 | 196.2 | 3.121 | 1.3581 | 1.2999 | -0.0583 |
| 0.5 | 203.7 | 2.994 | 1.4105 | 1.3653 | -0.0452 |
| 1 | 210.6 | 2.877 | 1.4506 | 1.43 | -0.0206 |
| 1.5 | 216.9 | 2.771 | 1.4829 | 1.4912 | 0.0082 |
| 2 | 222.5 | 2.676 | 1.5199 | 1.5458 | 0.0259 |
| 2.5 | 227.6 | 2.59 | 1.5581 | 1.5945 | 0.0364 |
| 3 | 232.5 | 2.507 | 1.5841 | 1.6396 | 0.0556 |
| 3.5 | 237 | 2.431 | 1.6129 | 1.679 | 0.0661 |
| 4 | 240.9 | 2.365 | 1.663 | 1.7112 | 0.0482 |
| 4.5 | 244.8 | 2.299 | 1.6933 | 1.7414 | 0.0481 |
| 5 | 248.5 | 2.237 | 1.718 | 1.7681 | 0.0501 |
| 6.01 | 255 | 2.127 | 1.7858 | 1.8101 | 0.0243 |
| 7.01 | 260 | 2.042 | 1.9122 | 1.8383 | -0.0739 |
| 8.01 | 264.2 | 1.971 | 2.0566 | 1.8592 | -0.1974 |

Experimento 8

| Hs= 0.10079 M B= 0.00649 Cs= 0.05034 HCl]= 0.100M E ₀ = 375.68 ± 0.00 J= 91.9400 ±0.0001 | | | | | |
|---|--------|-------|-----------------|-------------------|---------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ _{cf} | θ _{cf} * | fel |
| 0 | 186.9 | 3.236 | 1.333 | 1.245 | -0.088 |
| 0.51 | 192.9 | 3.134 | 1.3651 | 1.292 | -0.0731 |
| 1.01 | 198.5 | 3.04 | 1.3863 | 1.3399 | -0.0464 |
| 1.51 | 203.4 | 2.958 | 1.4234 | 1.3844 | -0.0389 |
| 2 | 208.2 | 2.877 | 1.4362 | 1.4298 | -0.0064 |
| 2.5 | 212.7 | 2.801 | 1.453 | 1.4733 | 0.0203 |
| 3 | 216.8 | 2.732 | 1.4785 | 1.5132 | 0.0348 |
| 3.99 | 224.5 | 2.603 | 1.5098 | 1.5871 | 0.0773 |
| 4.99 | 231.6 | 2.484 | 1.5386 | 1.6517 | 0.113 |
| 5.98 | 238.2 | 2.374 | 1.5552 | 1.7069 | 0.1517 |
| 7.48 | 245.9 | 2.246 | 1.7313 | 1.7641 | 0.0328 |
| 7.97 | 248.7 | 2.2 | 1.7376 | 1.7828 | 0.0452 |
| 8.97 | 253.7 | 2.118 | 1.7937 | 1.8133 | 0.0196 |
| 9.96 | 258 | 2.047 | 1.8794 | 1.8367 | -0.0426 |
| 10.96 | 262.2 | 1.979 | 1.9318 | 1.8571 | -0.0746 |
| 11.95 | 265.6 | 1.924 | 2.039 | 1.872 | -0.167 |

Experimento 9

| Hs= 0.10049 M | B= 0.00649 | Cs= 0.05019 | HCl]= 0.100M | E₀= 377.34 ± 0.00 | J= 15.3600 ±0.0002 |
|----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_{cf} | θ_{cf}* | fel |
| 0 | 187.1 | 3.221 | 1.3149 | 1.2514 | -0.0635 |
| 0.51 | 192.8 | 3.125 | 1.3599 | 1.2967 | -0.0633 |
| 1.01 | 198.3 | 3.032 | 1.3844 | 1.3442 | -0.0402 |
| 1.51 | 203.1 | 2.951 | 1.4253 | 1.3881 | -0.0372 |
| 2 | 207.8 | 2.871 | 1.4426 | 1.4329 | -0.0097 |
| 3 | 216.4 | 2.726 | 1.4799 | 1.5168 | 0.0369 |
| 3.99 | 224 | 2.598 | 1.5134 | 1.5902 | 0.0767 |
| 4.99 | 230.9 | 2.482 | 1.5582 | 1.653 | 0.0948 |
| 5.98 | 237.2 | 2.375 | 1.5979 | 1.7063 | 0.1084 |
| 6.98 | 243.2 | 2.274 | 1.6254 | 1.7523 | 0.1269 |
| 7.97 | 248.3 | 2.188 | 1.6955 | 1.7873 | 0.0918 |
| 8.97 | 253.2 | 2.106 | 1.7453 | 1.8174 | 0.0721 |
| 9.96 | 257.2 | 2.039 | 1.8503 | 1.8394 | -0.0108 |
| 11.95 | 264.4 | 1.918 | 2.0228 | 1.8735 | -0.1493 |
| 13.94 | 270.4 | 1.817 | 2.1629 | 1.897 | -0.2659 |

Experimento 10

| Hs= 0.026269 M | B= 0.00647 | Cs= 0.01308 | [KOH]= 0.100M | E₀= 380.02± 0.00 | J=1.50000±0.00001 |
|-----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_{cf} | θ_{cf}* | fel |
| 0 | 215.4 | 2.821 | 1.4763 | 1.4629 | -0.0134 |
| 0.2 | 210.8 | 2.899 | 1.4216 | 1.4188 | -0.0028 |
| 0.41 | 205.1 | 2.995 | 1.3688 | 1.3658 | -0.003 |
| 0.61 | 199.9 | 3.083 | 1.3048 | 1.3202 | 0.0154 |
| 0.81 | 192.9 | 3.201 | 1.2548 | 1.2638 | 0.009 |
| 1.01 | 184.4 | 3.345 | 1.2089 | 1.2044 | -0.0045 |
| 1.21 | 174.3 | 3.516 | 1.1667 | 1.1472 | -0.0194 |

Experimento 11

| Hs= 0.05117 M | B= 0.00646 | Cs= 0.02531 | [KOH]= 0.100M | E₀= 377.73 ± 0.00 | J=1.51000±0.00002 |
|----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_{cf} | θ_{cf}* | fel |
| 0 | 198 | 2.991 | 1.3349 | 1.3676 | 0.0327 |
| 0.21 | 194.5 | 3.05 | 1.2935 | 1.3364 | 0.0429 |
| 0.41 | 190.1 | 3.124 | 1.2772 | 1.299 | 0.0218 |
| 0.61 | 185.5 | 3.202 | 1.2577 | 1.2625 | 0.0048 |
| 0.81 | 180.9 | 3.28 | 1.2308 | 1.2289 | -0.0019 |
| 1.01 | 175.9 | 3.364 | 1.2069 | 1.1958 | -0.0111 |
| 1.21 | 170 | 3.464 | 1.1974 | 1.1613 | -0.0361 |
| 1.41 | 164.6 | 3.555 | 1.1745 | 1.1338 | -0.0407 |
| 1.61 | 159.2 | 3.646 | 1.1521 | 1.11 | -0.0421 |

Experimento 12

| Hs= 0.05111 M | B= 0.00646 | Cs= 0.02528 | [KOH]= 0.100M | E₀= 378.18 ± 0.00 | J=1.52000±0.00005 |
|----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_{cf} | θ_{cf}* | fel |
| 0 | 199.8 | 2.966 | 1.2867 | 1.3811 | 0.0944 |
| 0.21 | 193.9 | 3.065 | 1.3168 | 1.3282 | 0.0115 |
| 0.41 | 191.5 | 3.106 | 1.2454 | 1.3078 | 0.0624 |
| 0.61 | 186.8 | 3.186 | 1.2303 | 1.2699 | 0.0396 |
| 0.81 | 181.8 | 3.27 | 1.2141 | 1.2329 | 0.0188 |
| 1.01 | 176.4 | 3.361 | 1.1995 | 1.1968 | -0.0027 |
| 1.21 | 171.4 | 3.446 | 1.171 | 1.1672 | -0.0038 |
| 1.41 | 165.4 | 3.547 | 1.1608 | 1.1361 | -0.0247 |
| 1.61 | 159.9 | 3.64 | 1.1402 | 1.1115 | -0.0287 |
| 1.8 | 154.7 | 3.728 | 1.1226 | 1.0913 | -0.0313 |
| 2.05 | 148 | 3.841 | 1.1034 | 1.069 | -0.0344 |
| 2.2 | 144.3 | 3.904 | 1.0892 | 1.058 | -0.0312 |
| 2.4 | 138.9 | 3.995 | 1.0878 | 1.0434 | -0.0444 |
| 2.6 | 134.2 | 4.075 | 1.0761 | 1.0315 | -0.0446 |
| 2.8 | 129.7 | 4.151 | 1.0652 | 1.0205 | -0.0446 |

Experimento 13

| Hs= 0.05273 M | B= 0.00648 | Cs= 0.02631 | [KOH]= 0.100M | E₀= 378.12 ± 0.00 | J= 2.01 ± 0.00 |
|----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_{cf} | θ_{cf}* | fel |
| 0 | 203.8 | 3.017 | 1.2929 | 1.3536 | 0.0606 |
| 0.51 | 193.6 | 3.189 | 1.2296 | 1.2682 | 0.0385 |
| 1.01 | 182.1 | 3.384 | 1.1647 | 1.1886 | 0.0239 |
| 1.21 | 176.3 | 3.482 | 1.1573 | 1.1555 | -0.0018 |
| 1.41 | 171.8 | 3.558 | 1.1196 | 1.133 | 0.0134 |
| 1.61 | 166.3 | 3.651 | 1.1043 | 1.1087 | 0.0044 |
| 1.9 | 158.3 | 3.786 | 1.0893 | 1.0791 | -0.0101 |
| 2 | 155.4 | 3.835 | 1.0904 | 1.0698 | -0.0206 |
| 2.2 | 150.5 | 3.918 | 1.0764 | 1.0553 | -0.0211 |
| 2.4 | 145.3 | 4.006 | 1.0772 | 1.0412 | -0.036 |
| 2.6 | 140.5 | 4.087 | 1.0749 | 1.029 | -0.0459 |
| 2.8 | 135.7 | 4.168 | 1.0793 | 1.0171 | -0.0622 |

Experimento 14

| Hs= 0.05295 M | B= 0.00646 | Cs= 0.02631 | [KOH]= 0.100M | E₀= 379.18 ± 0.00 | J=1.51000±0.00002 |
|----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_{cf} | θ_{cf}* | fel |
| 0 | 203.7 | 3.015 | 1.3159 | 1.3546 | 0.0387 |
| 0.51 | 193.3 | 3.191 | 1.2591 | 1.2675 | 0.0084 |
| 1.01 | 182.1 | 3.38 | 1.1877 | 1.1899 | 0.0022 |
| 1.21 | 176.9 | 3.468 | 1.1676 | 1.1599 | -0.0078 |
| 1.41 | 171 | 3.568 | 1.1608 | 1.1302 | -0.0306 |
| 1.61 | 165.8 | 3.656 | 1.1393 | 1.1076 | -0.0318 |

Experimento 15

| Hs= 0.10103 M | B= 0.00649 | Cs= 0.05046 | [KOH]= 0.100M | E₀= 376.47 ± 0.00 | J=37.88000±0.00003 |
|----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| v (ml) | E (mV) | pH | θ_{cf} | θ_{cf}* | fel |
| 0 | 185 | 3.23 | 1.2889 | 1.2474 | -0.0415 |
| 0.51 | 178.8 | 3.335 | 1.2442 | 1.2039 | -0.0404 |
| 1.01 | 172.3 | 3.445 | 1.2068 | 1.1639 | -0.0429 |
| 1.51 | 165.8 | 3.555 | 1.1647 | 1.1296 | -0.0351 |
| 2 | 159.6 | 3.66 | 1.1205 | 1.1014 | -0.0191 |
| 2.5 | 153.4 | 3.764 | 1.0821 | 1.0769 | -0.0052 |
| 3 | 147.5 | 3.864 | 1.0474 | 1.0562 | 0.0088 |
| 3.5 | 142.1 | 3.955 | 1.0067 | 1.0386 | 0.0319 |
| 3.99 | 136.7 | 4.047 | 0.992 | 1.0216 | 0.0296 |
| 4.49 | 131.8 | 4.129 | 0.9602 | 1.0062 | 0.046 |
| 4.99 | 126.9 | 4.212 | 0.9433 | 0.9903 | 0.047 |
| 5.49 | 122.2 | 4.292 | 0.9258 | 0.974 | 0.0482 |
| 5.98 | 117.4 | 4.373 | 0.9287 | 0.956 | 0.0274 |
| 6.48 | 112.7 | 4.452 | 0.923 | 0.9369 | 0.014 |
| 6.98 | 107.9 | 4.534 | 0.9228 | 0.9157 | -0.0071 |
| 7.48 | 103.2 | 4.613 | 0.9119 | 0.8934 | -0.0185 |
| 7.97 | 98 | 4.701 | 0.9249 | 0.8668 | -0.0581 |
| 8.47 | 92.6 | 4.792 | 0.9267 | 0.8377 | -0.089 |
| 8.97 | 86.9 | 4.889 | 0.9219 | 0.806 | -0.1159 |

Experimento 16

| $H_s = 0.10073 \text{ M}$ | $B = 0.00649$ | $C_s = 0.05031$ | $[\text{KOH}] = 0.100\text{M}$ | $E_0 = 377.47 \pm 0.00$ | $J = 13.68000 \pm 0.00014$ |
|---------------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| $v \text{ (ml)}$ | $E \text{ (mV)}$ | pH | θ_{cf} | θ_{cf}^* | fel |
| 0 | 183.9 | 3.274 | 1.3933 | 1.2284 | -0.1649 |
| 0.51 | 177.9 | 3.376 | 1.3315 | 1.1883 | -0.1432 |
| 1.01 | 171.9 | 3.477 | 1.2673 | 1.1533 | -0.1141 |
| 1.51 | 165.5 | 3.585 | 1.2199 | 1.1209 | -0.099 |
| 2 | 159.4 | 3.688 | 1.1725 | 1.0943 | -0.0782 |
| 2.5 | 153.6 | 3.787 | 1.1179 | 1.0721 | -0.0458 |
| 3 | 147.9 | 3.883 | 1.0759 | 1.0524 | -0.0234 |
| 3.5 | 142.9 | 3.967 | 1.016 | 1.0364 | 0.0203 |
| 3.99 | 138 | 4.05 | 0.9742 | 1.0211 | 0.0468 |
| 4.49 | 133.2 | 4.131 | 0.9364 | 1.006 | 0.0696 |
| 4.99 | 128.3 | 4.214 | 0.9191 | 0.99 | 0.0709 |
| 5.49 | 123.6 | 4.294 | 0.9013 | 0.9737 | 0.0725 |
| 5.98 | 119 | 4.371 | 0.8911 | 0.9566 | 0.0654 |
| 6.48 | 114.4 | 4.449 | 0.8789 | 0.938 | 0.0591 |
| 6.98 | 109.8 | 4.527 | 0.8668 | 0.9178 | 0.051 |
| 7.48 | 104.9 | 4.61 | 0.8683 | 0.8946 | 0.0263 |
| 7.97 | 100.3 | 4.688 | 0.85 | 0.8714 | 0.0215 |
| 8.47 | 95.3 | 4.772 | 0.8361 | 0.8449 | 0.0088 |
| 8.97 | 90.3 | 4.857 | 0.8071 | 0.8174 | 0.0103 |

**Apéndice 5. Tablas de datos para el sistema H⁺ - V(III) - ácido glutámico.
Diagrama de distribución de especies**

Experimento 1

| Hs=0.02670 M | B= 0.00645 | Cs= 0.01308 | [HCl]= 0.100 M | E₀= 380.41 ± 0.00 | J= 1.4900 ±0.0001 |
|---------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 2.748 | 0.19 | 0 | 0 | 3.171 | 2.995 |
| 2.564 | 0.263 | 0 | 0 | 3.669 | 2.268 |
| 2.459 | 0.315 | 0 | 0 | 3.877 | 1.882 |
| 2.344 | 0.383 | 0 | 0 | 4.077 | 1.519 |
| 2.231 | 0.463 | 0 | 0 | 4.197 | 1.205 |
| 2.138 | 0.541 | 0 | 0 | 4.231 | 0.981 |
| 1.961 | 0.718 | 0 | 0 | 4.09 | 0.63 |

Experimento 2

| Hs= 0.04027 M | B= 0.00645 | Cs= 0.01976 | [HCl]= 0.100M | E₀=377.89 ± 0.00 | J=1.5200 ±0.0004 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|-------------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 3.046 | 0.058 | 0 | 0 | 2.205 | 4.131 |
| 2.833 | 0.086 | 0 | 0 | 2.876 | 3.298 |
| 2.658 | 0.118 | 0 | 0 | 3.402 | 2.613 |
| 2.511 | 0.154 | 0 | 0 | 3.784 | 2.072 |
| 2.385 | 0.193 | 0 | 0 | 4.046 | 1.654 |
| 2.271 | 0.237 | 0 | 0 | 4.215 | 1.328 |
| 2.222 | 0.259 | 0 | 0 | 4.222 | 1.188 |
| 2.15 | 0.296 | 0 | 0 | 4.254 | 1.013 |
| 2.089 | 0.33 | 0 | 0 | 4.252 | 0.88 |
| 1.953 | 0.422 | 0 | 0 | 4.208 | 0.638 |
| 1.849 | 0.509 | 0 | 0 | 4.093 | 0.487 |

Experimento 3

| Hs= 0.03941 M | B= 0.00649 | Cs= 0.01965 | [HCl]= 0.100M | E₀= 378.46 ±0.00 | J= 14.61 ± 0.00 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 3.007 | 0.063 | 0 | 0 | 2.348 | 4.023 |
| 2.824 | 0.088 | 0 | 0 | 2.922 | 3.287 |
| 2.664 | 0.118 | 0 | 0 | 3.404 | 2.646 |
| 2.55 | 0.145 | 0 | 0 | 3.689 | 2.209 |
| 2.443 | 0.177 | 0 | 0 | 3.917 | 1.832 |
| 2.271 | 0.241 | 0 | 0 | 4.151 | 1.307 |
| 2.109 | 0.323 | 0 | 0 | 4.246 | 0.921 |
| 1.993 | 0.398 | 0 | 0 | 4.198 | 0.697 |
| 1.899 | 0.471 | 0 | 0 | 4.094 | 0.547 |
| 1.748 | 0.611 | 0 | 0 | 3.811 | 0.36 |
| 1.65 | 0.717 | 0 | 0 | 3.512 | 0.264 |

Experimento 4

| Hs= 0.03941 M | B= 0.00649 | Cs= 0.01965 | [HCl]= 0.100M | E₀=378.66 ± 0.00 | J= 1.52 ± 0.00 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 3.027 | 0.043 | 0 | 0.001 | 2.269 | 4.076 |
| 2.863 | 0.058 | 0 | 0 | 2.777 | 3.419 |
| 2.721 | 0.075 | 0 | 0 | 3.205 | 2.846 |
| 2.603 | 0.093 | 0 | 0 | 3.526 | 2.384 |
| 2.493 | 0.114 | 0 | 0 | 3.785 | 1.987 |
| 2.4 | 0.135 | 0 | 0 | 3.959 | 1.678 |
| 2.309 | 0.16 | 0 | 0 | 4.096 | 1.406 |
| 2.204 | 0.194 | 0 | 0 | 4.143 | 1.118 |
| 2.101 | 0.235 | 0 | 0 | 4.144 | 0.882 |
| 1.996 | 0.286 | 0 | 0 | 4.109 | 0.687 |
| 1.812 | 0.403 | 0 | 0 | 3.924 | 0.429 |

Experimento 5

| Hs= 0.05189 M | B= 0.00648 | Cs= 0.02589 | [HCl]= 0.100M | E₀= 378.44± 0.00 | J= 1.490± 0.001 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 3.006 | 0.043 | 0 | 0 | 2.362 | 4.037 |
| 2.849 | 0.058 | 0 | 0 | 2.851 | 3.394 |
| 2.712 | 0.075 | 0 | 0 | 3.264 | 2.834 |
| 2.595 | 0.092 | 0 | 0 | 3.579 | 2.376 |
| 2.492 | 0.112 | 0 | 0 | 3.818 | 1.999 |
| 2.406 | 0.131 | 0 | 0 | 3.975 | 1.706 |
| 2.325 | 0.152 | 0 | 0 | 4.092 | 1.457 |
| 2.264 | 0.17 | 0 | 0 | 4.141 | 1.282 |
| 2.208 | 0.188 | 0 | 0 | 4.168 | 1.135 |
| 2.145 | 0.212 | 0 | 0 | 4.191 | 0.988 |
| 2.11 | 0.226 | 0 | 0 | 4.163 | 0.904 |
| 2.01 | 0.273 | 0 | 0 | 4.127 | 0.713 |
| 1.932 | 0.315 | 0 | 0 | 4.042 | 0.583 |

Experimento 6

| Hs= 0.05279 M | B= 0.00648 | Cs= 0.02634 | [HCl]= 0.100M | E₀= 378.02 ± 0.00 | J= 1.5400±0.0003 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 3.056 | 0.038 | 0 | 0.001 | 2.195 | 4.208 |
| 2.9 | 0.051 | 0 | 0 | 2.671 | 3.58 |
| 2.763 | 0.066 | 0 | 0 | 3.087 | 3.019 |
| 2.647 | 0.082 | 0 | 0 | 3.414 | 2.551 |
| 2.54 | 0.1 | 0 | 0 | 3.678 | 2.151 |
| 2.45 | 0.118 | 0 | 0 | 3.859 | 1.836 |
| 2.368 | 0.137 | 0 | 0 | 3.993 | 1.57 |
| 2.288 | 0.159 | 0 | 0 | 4.094 | 1.341 |
| 2.224 | 0.179 | 0 | 0 | 4.142 | 1.17 |
| 2.165 | 0.2 | 0 | 0 | 4.165 | 1.027 |
| 2.106 | 0.223 | 0 | 0 | 4.174 | 0.898 |
| 1.992 | 0.276 | 0 | 0 | 4.149 | 0.688 |
| 1.913 | 0.32 | 0 | 0 | 4.061 | 0.56 |
| 1.852 | 0.359 | 0 | 0 | 3.944 | 0.473 |
| 1.73 | 0.448 | 0 | 0 | 3.709 | 0.336 |

Experimento 7

| Hs= 0.06719 M | B= 0.00649 | Cs= 0.03351 | [HCl]= 0.100M | E₀= 378.93 ± 0.00 | J= 1.5200 ± 0.0001 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 3.121 | 0.025 | 0 | 0.001 | 1.993 | 4.441 |
| 2.994 | 0.032 | 0 | 0.001 | 2.362 | 3.93 |
| 2.877 | 0.04 | 0 | 0 | 2.708 | 3.445 |
| 2.771 | 0.048 | 0 | 0 | 3.016 | 3.002 |
| 2.676 | 0.058 | 0 | 0 | 3.27 | 2.617 |
| 2.59 | 0.068 | 0 | 0 | 3.478 | 2.283 |
| 2.507 | 0.079 | 0 | 0 | 3.655 | 1.982 |
| 2.431 | 0.091 | 0 | 0 | 3.791 | 1.726 |
| 2.365 | 0.102 | 0 | 0 | 3.883 | 1.519 |
| 2.299 | 0.116 | 0 | 0 | 3.958 | 1.33 |
| 2.237 | 0.13 | 0 | 0 | 4.01 | 1.167 |
| 2.127 | 0.161 | 0 | 0 | 4.047 | 0.914 |
| 2.042 | 0.189 | 0 | 0 | 4.015 | 0.747 |
| 1.971 | 0.216 | 0 | 0 | 3.95 | 0.624 |

Experimento 8

| Hs= 0.10079 M | B= 0.00649 | Cs= 0.05034 | [HCl]= 0.100M | E₀= 375.68 ± 0.00 | J= 91.9400 ± 0.0001 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 3.236 | 0.012 | 0.001 | 0.004 | 1.654 | 4.8 |
| 3.134 | 0.015 | 0 | 0.002 | 1.914 | 4.399 |
| 3.04 | 0.018 | 0 | 0.001 | 2.168 | 4.01 |
| 2.958 | 0.021 | 0 | 0.001 | 2.392 | 3.658 |
| 2.877 | 0.025 | 0 | 0 | 2.611 | 3.316 |
| 2.801 | 0.028 | 0 | 0 | 2.809 | 2.997 |
| 2.732 | 0.032 | 0 | 0 | 2.978 | 2.711 |
| 2.603 | 0.041 | 0 | 0 | 3.264 | 2.207 |
| 2.484 | 0.051 | 0 | 0 | 3.475 | 1.788 |
| 2.374 | 0.063 | 0 | 0 | 3.623 | 1.446 |
| 2.246 | 0.08 | 0 | 0 | 3.698 | 1.1 |
| 2.2 | 0.087 | 0 | 0 | 3.719 | 0.994 |
| 2.118 | 0.102 | 0 | 0 | 3.724 | 0.824 |
| 2.047 | 0.117 | 0 | 0 | 3.697 | 0.695 |
| 1.979 | 0.134 | 0 | 0 | 3.655 | 0.587 |
| 1.924 | 0.149 | 0 | 0 | 3.593 | 0.508 |

Experimento 9

| Hs= 0.10049 M | B= 0.00649 | Cs= 0.05019 | [HCl]= 0.100M | E₀= 377.34 ± 0.00 | J= 15.3600 ± 0.0002 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 3.221 | 0.013 | 0.001 | 0.004 | 1.695 | 4.759 |
| 3.125 | 0.015 | 0 | 0.002 | 1.943 | 4.37 |
| 3.032 | 0.018 | 0 | 0.001 | 2.194 | 3.984 |
| 2.951 | 0.022 | 0 | 0.001 | 2.414 | 3.635 |
| 2.871 | 0.025 | 0 | 0 | 2.629 | 3.297 |
| 2.726 | 0.033 | 0 | 0 | 2.998 | 2.691 |
| 2.598 | 0.042 | 0 | 0 | 3.28 | 2.19 |
| 2.482 | 0.051 | 0 | 0 | 3.482 | 1.781 |
| 2.375 | 0.063 | 0 | 0 | 3.619 | 1.449 |
| 2.274 | 0.076 | 0 | 0 | 3.708 | 1.176 |
| 2.188 | 0.09 | 0 | 0 | 3.738 | 0.973 |
| 2.106 | 0.105 | 0 | 0 | 3.74 | 0.805 |
| 2.039 | 0.12 | 0 | 0 | 3.706 | 0.683 |
| 1.918 | 0.152 | 0 | 0 | 3.598 | 0.502 |
| 1.817 | 0.185 | 0 | 0 | 3.454 | 0.382 |

Experimento 10

| Hs=0.026269 M | B=0.00647 | Cs=0.01308 | [KOH]= 0.100M | E₀= 380.02±0.00 | J=1.50000±0.00001 |
|----------------------|------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 2.821 | 0.168 | 0 | 0 | 2.93 | 3.274 |
| 2.899 | 0.146 | 0 | 0 | 2.639 | 3.527 |
| 2.995 | 0.122 | 0 | 0 | 2.296 | 3.83 |
| 3.083 | 0.104 | 0 | 0 | 2 | 4.086 |
| 3.201 | 0.083 | 0 | 0 | 1.642 | 4.405 |
| 3.345 | 0.063 | 0 | 0.001 | 1.269 | 4.738 |
| 3.516 | 0.046 | 0 | 0.002 | 0.913 | 5.049 |

Experimento 11

| Hs= 0.05117 M | B= 0.00646 | Cs= 0.02531 | [KOH]= 0.100M | E₀= 377.73 ± 0.00 | J=1.51000±0.00002 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 2.991 | 0.046 | 0 | 0 | 2.405 | 3.97 |
| 3.05 | 0.041 | 0 | 0.001 | 2.186 | 4.134 |
| 3.124 | 0.035 | 0 | 0.001 | 1.932 | 4.337 |
| 3.202 | 0.031 | 0 | 0.001 | 1.688 | 4.531 |
| 3.28 | 0.026 | 0 | 0.002 | 1.465 | 4.703 |
| 3.364 | 0.022 | 0 | 0.003 | 1.248 | 4.869 |
| 3.464 | 0.018 | 0 | 0.005 | 1.027 | 5.039 |
| 3.555 | 0.016 | 0.001 | 0.008 | 0.852 | 5.162 |
| 3.646 | 0.013 | 0.001 | 0.012 | 0.704 | 5.258 |

Experimento 12

| Hs= 0.05111 M | B= 0.00646 | Cs= 0.02528 | [KOH]= 0.100M | E₀= 378.18 ± 0.00 | J=1.52000±0.00005 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 2.966 | 0.048 | 0 | 0 | 2.491 | 3.883 |
| 3.065 | 0.04 | 0 | 0.001 | 2.135 | 4.187 |
| 3.106 | 0.037 | 0 | 0.001 | 1.988 | 4.281 |
| 3.186 | 0.032 | 0 | 0.001 | 1.734 | 4.484 |
| 3.27 | 0.027 | 0 | 0.002 | 1.489 | 4.678 |
| 3.361 | 0.023 | 0 | 0.003 | 1.255 | 4.863 |
| 3.446 | 0.019 | 0 | 0.005 | 1.063 | 5.004 |
| 3.547 | 0.016 | 0 | 0.007 | 0.866 | 5.149 |
| 3.64 | 0.013 | 0.001 | 0.011 | 0.712 | 5.249 |
| 3.728 | 0.011 | 0.001 | 0.017 | 0.59 | 5.32 |
| 3.841 | 0.009 | 0.001 | 0.028 | 0.459 | 5.378 |
| 3.904 | 0.008 | 0.001 | 0.036 | 0.399 | 5.394 |
| 3.995 | 0.007 | 0.001 | 0.052 | 0.324 | 5.404 |
| 4.075 | 0.006 | 0.001 | 0.071 | 0.269 | 5.391 |
| 4.151 | 0.005 | 0.002 | 0.095 | 0.225 | 5.363 |

Experimento 13

| Hs= 0.05273 M | B= 0.00648 | Cs= 0.02631 | [KOH]= 0.100M | E₀= 378.12 ± 0.00 | J= 2.01 ± 0.00 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 3.017 | 0.041 | 0 | 0.001 | 2.325 | 4.076 |
| 3.189 | 0.03 | 0 | 0.001 | 1.737 | 4.53 |
| 3.384 | 0.021 | 0 | 0.004 | 1.208 | 4.93 |
| 3.482 | 0.017 | 0 | 0.006 | 0.996 | 5.091 |
| 3.558 | 0.015 | 0.001 | 0.008 | 0.851 | 5.183 |
| 3.651 | 0.012 | 0.001 | 0.013 | 0.7 | 5.28 |
| 3.786 | 0.01 | 0.001 | 0.023 | 0.522 | 5.376 |
| 3.835 | 0.009 | 0.001 | 0.028 | 0.468 | 5.4 |
| 3.918 | 0.008 | 0.001 | 0.04 | 0.388 | 5.419 |
| 4.006 | 0.006 | 0.001 | 0.058 | 0.317 | 5.424 |
| 4.087 | 0.006 | 0.002 | 0.079 | 0.263 | 5.408 |
| 4.168 | 0.005 | 0.002 | 0.107 | 0.217 | 5.377 |

Experimento 14

| Hs= 0.05295 M | B= 0.00646 | Cs= 0.02631 | [KOH]= 0.100M | E₀= 379.18 ± 0.00 | J=1.51000±0.00002 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 3.015 | 0.041 | 0 | 0.001 | 2.324 | 4.057 |
| 3.191 | 0.03 | 0 | 0.001 | 1.728 | 4.521 |
| 3.38 | 0.021 | 0 | 0.004 | 1.213 | 4.907 |
| 3.468 | 0.017 | 0 | 0.005 | 1.019 | 5.049 |
| 3.568 | 0.014 | 0.001 | 0.009 | 0.832 | 5.184 |
| 3.656 | 0.012 | 0.001 | 0.013 | 0.691 | 5.271 |

Experimento 15

| Hs= 0.10103 M | B= 0.00649 | Cs= 0.05046 | [KOH]= 0.100M | E₀= 376.47 ± 0.00 | J=37.88000±0.00003 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 3.23 | 0.013 | 0.001 | 0.004 | 1.67 | 4.785 |
| 3.335 | 0.01 | 0.001 | 0.006 | 1.358 | 4.954 |
| 3.445 | 0.008 | 0.001 | 0.011 | 1.084 | 5.092 |
| 3.555 | 0.007 | 0.001 | 0.018 | 0.857 | 5.184 |
| 3.66 | 0.006 | 0.001 | 0.028 | 0.679 | 5.232 |
| 3.764 | 0.005 | 0.002 | 0.044 | 0.535 | 5.242 |
| 3.864 | 0.004 | 0.002 | 0.066 | 0.423 | 5.218 |
| 3.955 | 0.003 | 0.002 | 0.094 | 0.339 | 5.164 |
| 4.047 | 0.003 | 0.003 | 0.133 | 0.271 | 5.09 |
| 4.129 | 0.002 | 0.003 | 0.178 | 0.22 | 4.994 |
| 4.212 | 0.002 | 0.003 | 0.235 | 0.177 | 4.88 |
| 4.292 | 0.002 | 0.004 | 0.303 | 0.144 | 4.75 |
| 4.373 | 0.002 | 0.004 | 0.388 | 0.116 | 4.601 |
| 4.452 | 0.001 | 0.004 | 0.487 | 0.093 | 4.435 |
| 4.534 | 0.001 | 0.004 | 0.606 | 0.074 | 4.248 |
| 4.613 | 0.001 | 0.004 | 0.737 | 0.058 | 4.046 |
| 4.701 | 0.001 | 0.004 | 0.904 | 0.045 | 3.811 |
| 4.792 | 0.001 | 0.004 | 1.095 | 0.034 | 3.549 |
| 4.889 | 0.001 | 0.004 | 1.314 | 0.025 | 3.259 |

Experimento 16

| Hs= 0.10073 M | B= 0.00649 | Cs= 0.05031 | [KOH]= 0.100M | E₀= 377.47 ± 0.00 | J=13.68000±0.00014 |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| pH | b | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 3.274 | 0.012 | 0.001 | 0.005 | 1.547 | 4.907 |
| 3.376 | 0.01 | 0.001 | 0.008 | 1.26 | 5.05 |
| 3.477 | 0.008 | 0.001 | 0.013 | 1.019 | 5.155 |
| 3.585 | 0.006 | 0.001 | 0.021 | 0.806 | 5.232 |
| 3.688 | 0.005 | 0.002 | 0.032 | 0.64 | 5.267 |
| 3.787 | 0.004 | 0.002 | 0.049 | 0.51 | 5.262 |
| 3.883 | 0.004 | 0.002 | 0.072 | 0.406 | 5.23 |
| 3.967 | 0.003 | 0.002 | 0.099 | 0.33 | 5.168 |
| 4.05 | 0.003 | 0.003 | 0.134 | 0.269 | 5.091 |
| 4.131 | 0.002 | 0.003 | 0.178 | 0.219 | 4.994 |
| 4.214 | 0.002 | 0.003 | 0.236 | 0.177 | 4.88 |
| 4.294 | 0.002 | 0.004 | 0.304 | 0.143 | 4.749 |
| 4.371 | 0.002 | 0.004 | 0.385 | 0.116 | 4.604 |
| 4.449 | 0.001 | 0.004 | 0.481 | 0.094 | 4.441 |
| 4.527 | 0.001 | 0.004 | 0.592 | 0.075 | 4.261 |
| 4.61 | 0.001 | 0.004 | 0.729 | 0.059 | 4.055 |
| 4.688 | 0.001 | 0.004 | 0.871 | 0.047 | 3.843 |
| 4.772 | 0.001 | 0.004 | 1.043 | 0.036 | 3.601 |
| 4.857 | 0.001 | 0.004 | 1.226 | 0.028 | 3.346 |

**Apéndice 6. Tablas de datos para el sistema H⁺ - V(III) - ácido glutámico.
Cálculo de E.**

Experimento 1

| | | | $E_0 = 380.41 \pm 0.00$ | $J = 1.4900 \pm 0.0001$ |
|------|-------|--------|-------------------------|-------------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 215.4 | 213.91 | 2.774 | -1.4938 |
| 0.61 | 226.3 | 225.89 | 2.571 | -0.4091 |
| 1.11 | 232.5 | 234.01 | 2.434 | 1.5056 |
| 1.51 | 239.3 | 239.61 | 2.339 | 0.3125 |
| 2 | 246 | 245.57 | 2.238 | -0.4273 |
| 2.5 | 251.5 | 250.78 | 2.15 | -0.7198 |
| 3.99 | 262 | 262.44 | 1.953 | 0.4368 |

Experimento 2

| | | | $E_0 = 377.89 \pm 0.00$ | $J = 1.5200 \pm 0.0004$ |
|------|-------|--------|-------------------------|-------------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 188.9 | 197.59 | 2.899 | 8.6892 |
| 0.51 | 201.5 | 206.51 | 2.748 | 5.0083 |
| 1.01 | 211.8 | 214.15 | 2.619 | 2.351 |
| 1.51 | 220.5 | 220.96 | 2.504 | 0.4603 |
| 2 | 228 | 226.96 | 2.402 | -1.0418 |
| 2.5 | 234.7 | 232.47 | 2.309 | -2.2337 |
| 3 | 237.6 | 237.41 | 2.226 | -0.1918 |
| 3.5 | 241.9 | 241.83 | 2.151 | -0.07 |
| 3.99 | 245.5 | 245.71 | 2.085 | 0.2056 |
| 4.99 | 253.5 | 252.41 | 1.972 | -1.0944 |
| 5.98 | 259.7 | 257.75 | 1.882 | -1.9501 |

Experimento 3

| | | | $E_0 = 378.46 \pm 0.00$ | $J = 14.61 \pm 0.00$ |
|----------|-------|----------|-------------------------|----------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 196.4 | 198.74 | 2.967 | 2.3371 |
| 0.51 | 207.2 | 208.32 | 2.806 | 1.1224 |
| 1.01 | 216.7 | 216.44 | 2.669 | -0.2643 |
| 1.51 | 223.4 | 223.61 | 2.547 | 0.214 |
| 2 | 229.8 | 229.92 | 2.441 | 0.1166 |
| 3 | 240 | 240.89 | 2.256 | 0.8868 |
| 3.99 | 249.6 | 249.6 | 2.109 | -0.0014 |
| 4.99 | 256.5 | 256.63 | 1.991 | 0.1264 |
| 5.98 | 262.1 | 262.22 | 1.897 | 0.12 |
| 7.97 | 271.1 | 270.62 | 1.756 | -0.485 |
| 9.96 | 277 | 276.57 | 1.657 | -0.4278 |

Experimento 4

| | | | $E_0 = 378.66 \pm 0.00$ | $J = 1.52 \pm 0.00$ |
|----------|-------|----------|-------------------------|---------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0.01 | 197.3 | 200.42 | 2.974 | 3.1212 |
| 0.51 | 207 | 208.29 | 2.842 | 1.2852 |
| 1.01 | 215.4 | 215.27 | 2.724 | -0.1318 |
| 1.51 | 222.4 | 221.58 | 2.617 | -0.8156 |
| 2 | 228.9 | 227.26 | 2.521 | -1.6433 |
| 2.5 | 234.4 | 232.59 | 2.431 | -1.805 |
| 3 | 239.8 | 237.52 | 2.347 | -2.2763 |
| 3.99 | 246 | 246.16 | 2.201 | 0.1648 |
| 4.99 | 252.1 | 253.5 | 2.077 | 1.3953 |
| 5.98 | 258.3 | 259.53 | 1.976 | 1.2301 |
| 7.97 | 269.2 | 268.78 | 1.819 | -0.4151 |

Experimento 5

| | | | $E_0 = 378.44 \pm 0.00$ | $J = 1.490 \pm 0.001$ |
|----------|-------|----------|-------------------------|-----------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 203.8 | 204.88 | 2.988 | 1.0771 |
| 0.51 | 213.1 | 212.89 | 2.852 | -0.2074 |
| 1.01 | 221.2 | 219.86 | 2.734 | -1.3371 |
| 1.51 | 228.1 | 226.17 | 2.628 | -1.9299 |
| 2 | 234.2 | 231.84 | 2.532 | -2.3612 |
| 2.5 | 239.3 | 237.18 | 2.442 | -2.1195 |
| 3 | 244.1 | 242.12 | 2.358 | -1.9789 |
| 3.5 | 247.7 | 246.69 | 2.281 | -1.014 |
| 3.99 | 251 | 250.81 | 2.211 | -0.1896 |
| 4.49 | 254.7 | 254.68 | 2.146 | -0.0238 |
| 4.99 | 256.8 | 258.21 | 2.086 | 1.4122 |
| 5.98 | 262.7 | 264.32 | 1.983 | 1.6232 |
| 6.98 | 267.3 | 269.46 | 1.896 | 2.1586 |

Experimento 6

| | | | $E_0 = 378.02 \pm 0.00$ | $J = 1.5400 \pm 0.0003$ |
|----------|-------|----------|-------------------------|-------------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 194.3 | 196.36 | 3.021 | 2.059 |
| 0.51 | 203.5 | 204.51 | 2.883 | 1.0102 |
| 1.01 | 211.6 | 211.57 | 2.764 | -0.0251 |
| 1.51 | 218.5 | 217.95 | 2.656 | -0.5486 |
| 2 | 224.8 | 223.68 | 2.559 | -1.1249 |
| 2.5 | 230.1 | 229.07 | 2.468 | -1.031 |
| 3 | 235 | 234.06 | 2.384 | -0.9361 |
| 3.5 | 239.7 | 238.69 | 2.305 | -1.0109 |
| 3.99 | 243.5 | 242.88 | 2.235 | -0.6209 |
| 4.49 | 247 | 246.82 | 2.168 | -0.1826 |
| 4.99 | 250.5 | 250.43 | 2.107 | -0.0708 |
| 5.98 | 257.2 | 256.69 | 2.001 | -0.5103 |
| 6.98 | 261.9 | 261.96 | 1.912 | 0.063 |
| 8.02 | 265.5 | 266.53 | 1.835 | 1.033 |
| 9.96 | 272.7 | 273.2 | 1.722 | 0.5021 |

Experimento 7

| | | | $E_0 = 378.93 \pm 0.00$ | $J = 1.5200 \pm 0.0001$ |
|----------|-------|----------|-------------------------|-------------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 196.2 | 197.25 | 3.103 | 1.0526 |
| 0.5 | 203.7 | 204.38 | 2.983 | 0.6839 |
| 1 | 210.6 | 210.78 | 2.874 | 0.1778 |
| 1.5 | 216.9 | 216.59 | 2.776 | -0.3069 |
| 2 | 222.5 | 221.95 | 2.686 | -0.5474 |
| 2.5 | 227.6 | 226.94 | 2.601 | -0.6552 |
| 3 | 232.5 | 231.63 | 2.522 | -0.8693 |
| 3.5 | 237 | 236.05 | 2.447 | -0.9502 |
| 4 | 240.9 | 240.23 | 2.377 | -0.6741 |
| 4.5 | 244.8 | 244.17 | 2.31 | -0.6287 |
| 5 | 248.5 | 247.89 | 2.247 | -0.608 |
| 6.01 | 255 | 254.73 | 2.132 | -0.2725 |
| 7.01 | 260 | 260.62 | 2.032 | 0.6188 |
| 8.01 | 264.2 | 265.7 | 1.946 | 1.4958 |

Experimento 8

| | | | $E_0 = 375.68 \pm 0.00$ | $J = 91.9400 \pm 0.0001$ |
|----------|-------|----------|-------------------------|--------------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 186.9 | 188.16 | 3.214 | 1.2602 |
| 0.51 | 192.9 | 193.84 | 3.119 | 0.9431 |
| 1.01 | 198.5 | 198.99 | 3.032 | 0.4894 |
| 1.51 | 203.4 | 203.76 | 2.951 | 0.3617 |
| 2 | 208.2 | 208.13 | 2.878 | -0.0728 |
| 2.5 | 212.7 | 212.31 | 2.808 | -0.3864 |
| 3 | 216.8 | 216.27 | 2.741 | -0.5275 |
| 3.99 | 224.5 | 223.57 | 2.618 | -0.9255 |
| 4.99 | 231.6 | 230.39 | 2.504 | -1.2105 |
| 5.98 | 238.2 | 236.7 | 2.399 | -1.4986 |
| 7.48 | 245.9 | 245.55 | 2.252 | -0.3491 |
| 7.97 | 248.7 | 248.26 | 2.207 | -0.4422 |
| 8.97 | 253.7 | 253.49 | 2.121 | -0.2135 |
| 9.96 | 258 | 258.25 | 2.043 | 0.2526 |
| 10.96 | 262.2 | 262.64 | 1.971 | 0.4393 |
| 11.95 | 265.6 | 266.56 | 1.907 | 0.9647 |

Experimento 9

| | | | $E_0 = 377.34 \pm 0.00$ | $J = 15.3600 \pm 0.0002$ |
|----------|-------|----------|-------------------------|--------------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 187.1 | 187.94 | 3.207 | 0.8391 |
| 0.51 | 192.8 | 193.59 | 3.112 | 0.7933 |
| 1.01 | 198.3 | 198.71 | 3.025 | 0.4104 |
| 1.51 | 203.1 | 203.45 | 2.945 | 0.3538 |
| 2 | 207.8 | 207.79 | 2.872 | -0.0082 |
| 3 | 216.4 | 215.88 | 2.735 | -0.5176 |
| 3.99 | 224 | 223.13 | 2.613 | -0.8707 |
| 4.99 | 230.9 | 229.88 | 2.499 | -1.0168 |
| 5.98 | 237.2 | 236.12 | 2.394 | -1.0751 |
| 6.98 | 243.2 | 242.03 | 2.294 | -1.1662 |
| 7.97 | 248.3 | 247.5 | 2.202 | -0.8018 |
| 8.97 | 253.2 | 252.61 | 2.116 | -0.5897 |
| 9.96 | 257.2 | 257.25 | 2.038 | 0.0465 |
| 11.95 | 264.4 | 265.27 | 1.903 | 0.8677 |
| 13.94 | 270.4 | 271.7 | 1.795 | 1.2958 |

Experimento 10

| | | | $E_0 = 380.02 \pm 0.00$ | $J = 1.50000 \pm 0.00001$ |
|----------|-------|----------|-------------------------|---------------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 215.4 | 215.54 | 2.819 | 0.1411 |
| 0.2 | 210.8 | 210.57 | 2.903 | -0.2318 |
| 0.41 | 205.1 | 204.86 | 2.999 | -0.2438 |
| 0.61 | 199.9 | 198.82 | 3.101 | -1.0839 |
| 0.81 | 192.9 | 192.01 | 3.216 | -0.8895 |
| 1.01 | 184.4 | 184.21 | 3.348 | -0.1939 |
| 1.21 | 174.3 | 175.16 | 3.501 | 0.8598 |

Experimento 11

| | | | $E_0 = 377.73 \pm 0.00$ | $J = 1.51000 \pm 0.00002$ |
|----------|-------|----------|-------------------------|---------------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 198 | 196.9 | 3.009 | -1.1044 |
| 0.21 | 194.5 | 193.05 | 3.074 | -1.4487 |
| 0.41 | 190.1 | 189.16 | 3.14 | -0.939 |
| 0.61 | 185.5 | 185.02 | 3.21 | -0.4801 |
| 0.81 | 180.9 | 180.61 | 3.285 | -0.2949 |
| 1.01 | 175.9 | 175.91 | 3.364 | 0.0059 |
| 1.21 | 170 | 170.93 | 3.448 | 0.9337 |
| 1.41 | 164.6 | 165.73 | 3.536 | 1.1324 |
| 1.61 | 159.2 | 160.39 | 3.626 | 1.1852 |

Experimento 12

| | | | $E_0 = 378.18 \pm 0.00$ | $J = 1.52000 \pm 0.00005$ |
|----------|-------|----------|-------------------------|---------------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 199.8 | 197.15 | 3.011 | -2.6494 |
| 0.21 | 193.9 | 193.3 | 3.076 | -0.6025 |
| 0.41 | 191.5 | 189.4 | 3.142 | -2.1021 |
| 0.61 | 186.8 | 185.25 | 3.212 | -1.5539 |
| 0.81 | 181.8 | 180.82 | 3.287 | -0.9804 |
| 1.01 | 176.4 | 176.11 | 3.366 | -0.2921 |
| 1.21 | 171.4 | 171.12 | 3.451 | -0.2768 |
| 1.41 | 165.4 | 165.91 | 3.539 | 0.5104 |
| 1.61 | 159.9 | 160.55 | 3.629 | 0.6539 |
| 1.8 | 154.7 | 155.43 | 3.716 | 0.7288 |
| 2.05 | 148 | 148.79 | 3.828 | 0.7927 |
| 2.2 | 144.3 | 144.93 | 3.893 | 0.6306 |
| 2.4 | 138.9 | 139.96 | 3.977 | 1.0617 |
| 2.6 | 134.2 | 135.21 | 4.058 | 1.011 |
| 2.8 | 129.7 | 130.67 | 4.134 | 0.9695 |

Experimento 13

| | | | $E_0 = 378.12 \pm 0.00$ | $J = 2.01 \pm 0.00$ |
|----------|-------|----------|-------------------------|---------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 203.8 | 201.97 | 3.048 | -1.8275 |
| 0.51 | 193.6 | 192.11 | 3.214 | -1.4858 |
| 1.01 | 182.1 | 180.87 | 3.404 | -1.2347 |
| 1.21 | 176.3 | 175.93 | 3.488 | -0.3657 |
| 1.41 | 171.8 | 170.83 | 3.574 | -0.971 |
| 1.61 | 166.3 | 165.64 | 3.662 | -0.6645 |
| 1.9 | 158.3 | 158.15 | 3.788 | -0.147 |
| 2 | 155.4 | 155.63 | 3.831 | 0.2292 |
| 2.2 | 150.5 | 150.71 | 3.914 | 0.2131 |
| 2.4 | 145.3 | 146 | 3.994 | 0.6955 |
| 2.6 | 140.5 | 141.48 | 4.07 | 0.9833 |
| 2.8 | 135.7 | 137.16 | 4.143 | 1.4627 |

Experimento 14

| | | | $E_0 = 379.18 \pm 0.00$ | $J = 1.51000 \pm 0.00004$ |
|----------|-------|----------|-------------------------|---------------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 203.7 | 202.45 | 3.036 | -1.2521 |
| 0.51 | 193.3 | 192.73 | 3.2 | -0.574 |
| 1.01 | 182.1 | 181.63 | 3.388 | -0.4663 |
| 1.21 | 176.9 | 176.76 | 3.47 | -0.1407 |
| 1.41 | 171 | 171.7 | 3.556 | 0.6958 |
| 1.61 | 165.8 | 166.53 | 3.643 | 0.7252 |

Experimento 15

| | | | $E_0 = 376.47 \pm 0.00$ | $J = 37.88000 \pm 0.00003$ |
|----------|-------|----------|-------------------------|----------------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 185 | 185.47 | 3.223 | 0.4686 |
| 0.51 | 178.8 | 179.25 | 3.328 | 0.4506 |
| 1.01 | 172.3 | 172.79 | 3.437 | 0.4857 |
| 1.51 | 165.8 | 166.1 | 3.55 | 0.2956 |
| 2 | 159.6 | 159.53 | 3.661 | -0.0732 |
| 2.5 | 153.4 | 153.02 | 3.771 | -0.3828 |
| 3 | 147.5 | 146.84 | 3.875 | -0.6579 |
| 3.5 | 142.1 | 141.05 | 3.973 | -1.0501 |
| 3.99 | 136.7 | 135.73 | 4.063 | -0.9705 |
| 4.49 | 131.8 | 130.61 | 4.15 | -1.1851 |
| 4.99 | 126.9 | 125.76 | 4.232 | -1.1434 |
| 5.49 | 122.2 | 121.09 | 4.311 | -1.1066 |
| 5.98 | 117.4 | 116.66 | 4.386 | -0.744 |
| 6.48 | 112.7 | 112.21 | 4.461 | -0.4911 |
| 6.98 | 107.9 | 107.79 | 4.535 | -0.11 |
| 7.48 | 103.2 | 103.35 | 4.611 | 0.1454 |
| 7.97 | 98 | 98.91 | 4.686 | 0.909 |
| 8.47 | 92.6 | 94.24 | 4.765 | 1.6365 |
| 8.97 | 86.9 | 89.34 | 4.847 | 2.4396 |

Experimento 16

| | | | $E_0 = 377.47 \pm 0.00$ | $J = 13.68000 \pm 0.00021$ |
|----------|-------|----------|-------------------------|----------------------------|
| v | | E | pH | fel |
| 0 | 183.9 | 186.55 | 3.23 | 2.6542 |
| 0.51 | 177.9 | 180.29 | 3.335 | 2.3924 |
| 1.01 | 171.9 | 173.79 | 3.445 | 1.8882 |
| 1.51 | 165.5 | 167.07 | 3.559 | 1.5711 |
| 2 | 159.4 | 160.49 | 3.67 | 1.0919 |
| 2.5 | 153.6 | 153.99 | 3.78 | 0.3874 |
| 3 | 147.9 | 147.83 | 3.884 | -0.0739 |
| 3.5 | 142.9 | 142.05 | 3.982 | -0.8498 |
| 3.99 | 138 | 136.74 | 4.071 | -1.2555 |
| 4.49 | 133.2 | 131.64 | 4.158 | -1.5589 |
| 4.99 | 128.3 | 126.79 | 4.24 | -1.5106 |
| 5.49 | 123.6 | 122.13 | 4.319 | -1.472 |
| 5.98 | 119 | 117.69 | 4.394 | -1.3124 |
| 6.48 | 114.4 | 113.23 | 4.469 | -1.1679 |
| 6.98 | 109.8 | 108.8 | 4.544 | -1.0008 |
| 7.48 | 104.9 | 104.33 | 4.619 | -0.5658 |
| 7.97 | 100.3 | 99.87 | 4.695 | -0.4296 |
| 8.47 | 95.3 | 95.16 | 4.774 | -0.139 |
| 8.97 | 90.3 | 90.22 | 4.858 | -0.0849 |

**Apéndice 7. Tablas de datos para el sistema H⁺ - V(III) - ácido glutámico.
Distribución del ligando**

Experimento 1

| | | | $E_0=377.580\pm 1.709$ $J=10.180\pm 18.209$ | |
|-----------|----------|----------|---|----------|
| pH | b | 2 | 3 | 4 |
| 3.513 | 42.196 | 3.754 | 4.42 | 0 |
| 3.396 | 41.047 | 4.777 | 3.287 | 0 |
| 3.278 | 39.492 | 6.035 | 2.408 | 0 |
| 3.23 | 38.757 | 6.605 | 2.12 | 0 |
| 3.166 | 37.611 | 7.431 | 1.774 | 0 |
| 3.065 | 35.564 | 8.875 | 1.328 | 0 |
| 2.97 | 33.383 | 10.36 | 1.002 | 0 |
| 2.884 | 31.194 | 11.806 | 0.768 | 0 |
| 2.801 | 28.973 | 13.27 | 0.59 | 0 |
| 2.727 | 26.9 | 14.592 | 0.462 | 0 |
| 2.657 | 24.858 | 15.873 | 0.363 | 0 |
| 2.586 | 22.827 | 17.158 | 0.283 | 0 |
| 2.458 | 19.185 | 19.365 | 0.177 | 0 |
| 2.34 | 15.996 | 21.177 | 0.113 | 0 |
| 2.232 | 13.311 | 22.576 | 0.073 | 0 |
| 2.13 | 11.016 | 23.65 | 0.048 | 0 |
| 2.04 | 9.202 | 24.329 | 0.032 | 0 |
| 1.959 | 7.763 | 24.689 | 0.023 | 0 |
| 1.889 | 6.639 | 24.81 | 0.017 | 0 |
| 1.828 | 5.747 | 24.748 | 0.012 | 0 |
| 1.773 | 5.03 | 24.575 | 0.01 | 0 |
| 1.728 | 4.482 | 24.274 | 0.008 | 0 |
| 1.689 | 4.032 | 23.923 | 0.006 | 0 |
| 1.619 | 3.328 | 23.158 | 0.004 | 0 |
| 1.565 | 2.833 | 22.33 | 0.003 | 0 |

Experimento 2

| | | | $E_0=378.590\pm 0.429$ | $J=1.820\pm 5.666$ |
|-----------|----------|----------|------------------------|--------------------|
| pH | b | 2 | 3 | 4 |
| 3.508 | 42.109 | 3.786 | 4.365 | 0 |
| 3.39 | 40.959 | 4.835 | 3.233 | 0 |
| 3.271 | 39.382 | 6.105 | 2.367 | 0 |
| 3.163 | 37.517 | 7.462 | 1.758 | 0 |
| 3.063 | 35.472 | 8.876 | 1.321 | 0 |
| 2.97 | 33.32 | 10.328 | 1.002 | 0 |
| 2.884 | 31.137 | 11.771 | 0.768 | 0 |
| 2.807 | 29.022 | 13.123 | 0.598 | 0 |
| 2.73 | 26.894 | 14.489 | 0.465 | 0 |
| 2.592 | 22.902 | 16.977 | 0.288 | 0 |
| 2.465 | 19.282 | 19.139 | 0.181 | 0 |
| 2.347 | 16.085 | 20.967 | 0.115 | 0 |
| 2.239 | 13.382 | 22.379 | 0.075 | 0 |
| 2.138 | 11.117 | 23.43 | 0.049 | 0 |
| 2.045 | 9.255 | 24.151 | 0.033 | 0 |
| 1.963 | 7.78 | 24.555 | 0.023 | 0 |
| 1.892 | 6.643 | 24.674 | 0.017 | 0 |
| 1.772 | 5.004 | 24.473 | 0.01 | 0 |
| 1.682 | 3.961 | 23.877 | 0.006 | 0 |
| 1.609 | 3.247 | 23.117 | 0.004 | 0 |
| 1.551 | 2.737 | 22.308 | 0.003 | 0 |

Experimento 3

| | | | $E_0=377.830\pm 0.332$ | $J=27.740\pm 7616.953$ |
|-------|--------|-------|------------------------|------------------------|
| pH | b | 2 | 3 | 4 |
| 3.541 | 42.002 | 3.499 | 4.699 | 0 |
| 3.656 | 40.46 | 2.587 | 5.898 | 0 |
| 3.77 | 38.572 | 1.899 | 7.303 | 0 |
| 3.879 | 36.403 | 1.394 | 8.862 | 0 |
| 3.981 | 34.077 | 1.03 | 10.507 | 0 |
| 4.075 | 31.699 | 0.772 | 12.124 | 0 |
| 4.166 | 29.252 | 0.578 | 13.791 | 0 |
| 4.257 | 26.719 | 0.428 | 15.541 | 0 |
| 4.342 | 24.303 | 0.32 | 17.189 | 0 |
| 4.427 | 21.886 | 0.237 | 18.831 | 0 |
| 4.512 | 19.518 | 0.174 | 20.44 | 0 |
| 4.605 | 17.089 | 0.123 | 22.129 | 0 |
| 4.694 | 14.871 | 0.087 | 23.637 | 0 |
| 4.791 | 12.646 | 0.059 | 25.159 | 0 |
| 4.901 | 10.429 | 0.038 | 26.693 | 0 |
| 5.025 | 8.266 | 0.023 | 28.192 | 0 |
| 5.172 | 6.197 | 0.012 | 29.63 | 0.001 |
| 5.239 | 5.41 | 0.009 | 30.164 | 0.001 |
| 5.317 | 4.606 | 0.006 | 30.719 | 0.001 |
| 5.409 | 3.788 | 0.004 | 31.291 | 0.001 |
| 5.519 | 2.993 | 0.003 | 31.842 | 0.001 |
| 5.675 | 2.133 | 0.001 | 32.461 | 0.002 |
| 5.869 | 1.384 | 0.001 | 32.971 | 0.003 |
| 6.256 | 0.578 | 0 | 33.539 | 0.008 |
| 6.534 | 0.306 | 0 | 33.687 | 0.015 |
| 7.386 | 0.043 | 0 | 33.744 | 0.105 |
| 7.832 | 0.015 | 0 | 33.471 | 0.291 |
| 8.209 | 0.006 | 0 | 32.974 | 0.684 |
| 8.336 | 0.005 | 0 | 32.651 | 0.907 |
| 8.456 | 0.004 | 0 | 32.265 | 1.181 |
| 8.549 | 0.003 | 0 | 31.889 | 1.446 |
| 8.635 | 0.002 | 0 | 31.484 | 1.741 |
| 8.714 | 0.002 | 0 | 31.053 | 2.062 |
| 8.78 | 0.002 | 0 | 30.638 | 2.368 |
| 8.829 | 0.001 | 0 | 30.278 | 2.62 |
| 9.047 | 0.001 | 0 | 28.317 | 4.048 |
| 9.108 | 0.001 | 0 | 27.615 | 4.541 |
| 9.174 | 0.001 | 0 | 26.818 | 5.133 |
| 9.23 | 0 | 0 | 26.073 | 5.675 |
| 9.281 | 0 | 0 | 25.347 | 6.2 |
| 9.331 | 0 | 0 | 24.597 | 6.762 |
| 9.441 | 0 | 0 | 22.801 | 8.073 |
| 9.549 | 0 | 0 | 20.908 | 9.496 |

| | | | | |
|--------|---|---|--------|--------|
| 9.632 | 0 | 0 | 19.326 | 10.622 |
| 9.722 | 0 | 0 | 17.614 | 11.9 |
| 9.81 | 0 | 0 | 15.918 | 13.167 |
| 9.894 | 0 | 0 | 14.299 | 14.368 |
| 10.067 | 0 | 0 | 11.171 | 16.696 |
| 10.158 | 0 | 0 | 9.665 | 17.826 |
| 10.258 | 0 | 0 | 8.167 | 18.951 |
| 10.369 | 0 | 0 | 6.688 | 20.066 |
| 10.493 | 0 | 0 | 5.295 | 21.106 |
| 10.645 | 0 | 0 | 3.914 | 22.149 |

Experimento 4

| | | | $E_0=379.080\pm 0.939$ | $J=1.490\pm 4642.649$ |
|-----------|----------|----------|------------------------|-----------------------|
| pH | b | 2 | 3 | 4 |
| 3.517 | 42.039 | 3.702 | 4.449 | 0 |
| 3.634 | 40.603 | 2.732 | 5.625 | 0 |
| 3.751 | 38.765 | 1.992 | 7.031 | 0 |
| 3.866 | 36.584 | 1.443 | 8.645 | 0 |
| 3.97 | 34.255 | 1.063 | 10.288 | 0 |
| 4.07 | 31.793 | 0.784 | 12.011 | 0 |
| 4.161 | 29.34 | 0.586 | 13.689 | 0 |
| 4.255 | 26.762 | 0.431 | 15.49 | 0 |
| 4.342 | 24.29 | 0.32 | 17.18 | 0 |
| 4.411 | 22.247 | 0.25 | 18.436 | 0 |
| 4.495 | 19.909 | 0.185 | 20.018 | 0 |
| 4.582 | 17.569 | 0.133 | 21.605 | 0 |
| 4.673 | 15.284 | 0.094 | 23.17 | 0 |
| 4.771 | 13.025 | 0.064 | 24.729 | 0 |
| 4.877 | 10.826 | 0.042 | 26.248 | 0 |
| 4.994 | 8.719 | 0.026 | 27.694 | 0 |
| 5.14 | 6.577 | 0.014 | 29.195 | 0.001 |
| 5.206 | 5.76 | 0.01 | 29.76 | 0.001 |
| 5.278 | 4.962 | 0.008 | 30.31 | 0.001 |
| 5.361 | 4.174 | 0.005 | 30.853 | 0.001 |
| 5.471 | 3.307 | 0.003 | 31.478 | 0.001 |
| 5.586 | 2.577 | 0.002 | 31.967 | 0.002 |
| 5.765 | 1.738 | 0.001 | 32.569 | 0.002 |
| 6 | 1.027 | 0 | 33.045 | 0.004 |
| 6.58 | 0.274 | 0 | 33.555 | 0.016 |
| 7.98 | 0.011 | 0 | 33.201 | 0.406 |
| 8.189 | 0.007 | 0 | 32.847 | 0.651 |
| 8.372 | 0.004 | 0 | 32.41 | 0.978 |
| 8.587 | 0.003 | 0 | 31.605 | 1.564 |
| 8.744 | 0.002 | 0 | 30.764 | 2.186 |
| 8.855 | 0.001 | 0 | 29.981 | 2.754 |
| 8.95 | 0.001 | 0 | 29.187 | 3.335 |
| 9.033 | 0.001 | 0 | 28.387 | 3.925 |
| 9.199 | 0.001 | 0 | 26.435 | 5.352 |
| 9.33 | 0 | 0 | 24.555 | 6.735 |
| 9.447 | 0 | 0 | 22.673 | 8.135 |
| 9.547 | 0 | 0 | 20.903 | 9.436 |
| 9.641 | 0 | 0 | 19.141 | 10.745 |
| 9.733 | 0 | 0 | 17.395 | 12.05 |
| 9.822 | 0 | 0 | 15.673 | 13.344 |
| 9.909 | 0 | 0 | 14.032 | 14.57 |
| 9.996 | 0 | 0 | 12.415 | 15.783 |
| 10.078 | 0 | 0 | 10.98 | 16.826 |

| | | | | |
|--------|---|---|-------|--------|
| 10.182 | 0 | 0 | 9.294 | 18.13 |
| 10.289 | 0 | 0 | 7.743 | 19.302 |
| 10.402 | 0 | 0 | 6.3 | 20.384 |
| 10.537 | 0 | 0 | 4.86 | 21.472 |
| 10.696 | 0 | 0 | 3.527 | 22.463 |