

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
CENTRO DE EQUILIBRIOS EN SOLUCION



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE LOS COMPLEJOS DE VANADIO(IV) Y LEUCINA POR MEDIO DE MEDIDAS DE FUERZAS ELECTROMOTRICES (KCI 3.0 M, 25 °C)

Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela por la Br. Natalia S. Muñoz Cordero, para optar al título de Licenciado en Química

Caracas, Octubre 2009

Los Drs. Mary Lorena Araujo y Felipe Brito, Profesores Titulares del Centro de Equilibrios en Solución de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela,

Certificamos que el trabajo titulado ESTUDIO DE LOS COMPLEJOS DE VANADIO(IV) Y LEUCINA POR MEDIO DE MEDIDAS DE FUERZAS ELECTROMOTRICES (KCl 3.0 M, 25 °C), presentado por la Br. Natalia S. Muñoz Cordero para aspirar al título de Licenciado en Química, ha sido realizado en los Laboratorios de dicho centro, bajo nuestra dirección y con esta fecha autorizamos su presentación.

Caracas, Octubre de 2009.

Dra. Mary Lorena Araujo

(Tutor)

Dr. Felipe Brito

(Tutor)

Los abajo firmantes designados por la Universidad Central de Venezuela como integrantes del Jurado Examinador del Trabajo Especial de Grado titulado **ESTUDIO DE LOS COMPLEJOS DE VANADIO(IV) Y LEUCINA POR MEDIO DE MEDIDAS DE FUERZAS ELECTROMOTRICES (KCl 3.0 M, 25 °C)**, presentado por la Br. Natalia S. Muñoz Cordero, certificamos que cumple con los requisitos exigidos por el Reglamento vigente de Trabajos Especiales de Grado de la Escuela de Química.

Mary Lorena Araujo
(Tutor)

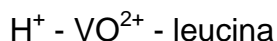
Felipe Brito
(Tutor)

Manuel Caetano
(Jurado)

Vito Lubes
(Jurado)

RESUMEN

En el presente trabajo se estudiaron los sistemas:



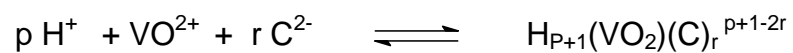
por medio de medidas de fuerzas electromotrices $emf(H)$ a 25°C y en KCl 3.0 M como medio iónico inerte.

El análisis de los datos experimentales expresados de la forma de θ_c ($-\log h$) y θ_{cf} ($-\log h$), donde θ_c es el número medio de iones H^+ asociados por mol de ligando y θ_{cf} es el número medio de H^+ asociados por mol de ligando restando la contribución de la protonación y desprotonación del ligando, así como los productos de la hidrólisis del ion VO_2^+ , se realizó utilizando el programa de mínimos cuadrados generalizados LETAGROP, obteniéndose los siguientes valores de pK_a para la leucina y las constantes de estabilidad de los complejos β_{Pqr} , según las siguientes reacciones generales:

- **Sistema H^+ - leucina**

	pK_a
$\text{H}_2\text{C}^+ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HC}$	2.79 (2)
$\text{HC} \rightleftharpoons \text{C}^- + \text{H}^+$	9.95 (2)
	0.024

- Sistema H⁺ - VO₂⁺ - leucina.



especies	log β _{pqr}				
	[HVOC] ²⁺	11.71(8)	11.83(2)	11.93(8)	11.99(3)
[H ₂ VOC ₂] ²⁺	23.2(1)	22.5 (max. 22.9)	23.14(0)	23.3(3)	22.9(3)
σ(θ _B)	0.052				
σ(θ _C)		0.013			
σ(θ _{Bf})			0.035		
σ(θ _{cf})				0.130	
σ(E) / mV					1.3

INDICE

	Pag
SIMBOLOS	1
1. INTRODUCCION	3
1.1 Generalidades del Vanadio	4
1.2. Química del vanadio(IV)	4
1.3. Química de los aminoácidos	8
1.3.1. Leucina	13
1.4. Complejos de vanadio(IV) y leucina	15
2. FUNDAMENTO TEORICO	17
2.1. Ley de acción de masas	18
2.2. Escala de actividades	18
2.3 Nivel de Reacción	19
2.3.1 Sistema H⁺- leucina	19
2.3.2 Sistema H⁺- V(IV)- leucina	20
3. OBJETIVOS	21
4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	23
4.1. Reactivos y disoluciones	24
4.2. Medidas de <i>emf(H)</i>	25
4.3. Instrumentos de medida	26
4.4. Procedimiento de medida	27
4.5. Análisis de Datos	28

5. RESULTADOS Y DISCUCION	31
5.1. Sistema H⁺- Leucina	32
5.2. Sistema H⁺- vanadio(IV) - leucina	35
6. CONCLUSIONES	42
7. BIBLIOGRAFIA	44

SIMBOLOS

H, B, C	Concentraciones totales (analíticas) de H ⁺ , vanadio(IV), leucina (HC)
<i>h, b, c</i>	Concentraciones en equilibrio de H ⁺ , VO ²⁺ , C ⁻
β_{pqr}	Constante de estabilidad de un complejo H _p (VO ²⁺) _q (HC) _r ^{p-q} , brevemente (p, q, r)
c_{pqr}	Concentración en equilibrio de un complejo (p, q, r)
<i>emf</i> (H)	Medidas de fuerzas electromotrices (EV)
E	Potencial (mV) , pila REF // S / EV
E _o	Potencial <i>estándar</i> (mV), pila REF // S / EV
EV	Electrodo de vidrio, pila REF // S / EV
{H}	Disolución <i>madre</i> de ácido fuerte (K, H)Cl 3.0 M
{mi}	Medio iónico KCl 3.0 M
{OH}	Disolución <i>madre</i> de base fuerte K(Cl,OH) 3.0 M
J	Parámetro relacionado con el potencial de difusión en la unión líquida // , pila REF // S / EV
M	moles/L
mM	milimoles/L
<i>ns</i>	n° de experimentos
<i>np</i>	n° de puntos en un experimento
<i>nk</i>	n° de complejos
<i>pH</i>	-log <i>h</i>
REF	Semipila de referencia, pila REF // S / EV
S	Disolución problema en el reactor, pila REF // S / EV
T	Disolución <i>titulante</i>
U	Suma de mínimos cuadrados
θ_B	N° medio de H ⁺ asociados / mol de V(IV)
θ_C	N° medio de H ⁺ asociados / mol de leucina

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

El vanadio, de número atómico 23, es el tercero de los elementos químicos pertenecientes a la primera serie de transición de la tabla periódica. Con el niobio y el tántalo forma el grupo 5.¹

La mayor acumulación de vanadio en los seres humanos tiene lugar a través de alimentos como trigo, semilla de soja, aceites de oliva y girasol, manzanas y huevos. El vanadio puede tener un número de efectos sobre la salud humana, cuando la toma es muy alta. Cuando es acumulado a través del aire puede causar bronquitis y neumonía. Los efectos graves del vanadio son irritación de pulmones, garganta, ojos y cavidades nasales. Otros efectos sobre la salud son: daño cardíaco y vascular, inflamación del estómago e intestinos, daño en el sistema nervioso, sangrado del hígado y riñones, irritación de la piel, temblores severos y parálisis, sangrado de la nariz, dolor de cabeza, mareos y cambios de comportamiento.²

El vanadio presenta una química muy variada en todos sus estados de oxidación, los cuales comprenden en disolución acuosa desde +2 hasta +5, cada uno de los cuales exhibe características y propiedades diferentes.^{3,4}

1.2. Química del vanadio(IV)

La química del vanadio(IV) en disolución acuosa está basada exclusivamente en la del ion vanadilo(IV) $[\text{VO}(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$, brevemente VO^{2+} , **figura 1**, Este ion es estable sólo en disolución ácida y se oxida rápidamente por el oxígeno a $\text{pH} > 3$. El metal en este

estado de oxidación es *paramagnético*, ya que posee un electrón desapareado. De manera que el estudio de sus complejos puede ser seguido por EPR.⁵

Casi todos los complejos de V(IV) tienen el color azul típico del ion VO^{2+} y presentan otras propiedades físicas características, como acoplamiento *hiperfino* del ^{51}V y bandas de IR en el intervalo 950 a 100 cm^{-1} , características del enlace $\text{V}=\text{O}$, el cual es muy fuerte y tiene carácter parcialmente de triple enlace, con la distancia $\text{V}=\text{O}$ muy corta ($1.55 - 1.68$) Å.⁶

El enlace $\text{V}=\text{O}$ pueden considerarse como un enlace múltiple, cuyo componente π proviene del flujo de densidad electrónica del O ($p\pi$) al V ($d\pi$). La frecuencia de estiramiento $\text{V}=\text{O}$ es muy sensible a la naturaleza del ligante *trans*; los dadores que aumentan la densidad electrónica sobre el metal reducen al mismo tiempo sus propiedades aceptoras frente al oxígeno y causan, en consecuencia, una disminución en el carácter de doble ligadura del enlace $\text{V}=\text{O}$ y en la frecuencia de estiramiento. Por la misma razón, los espectros EPR y electrónicos del ion VO^{2+} son sensibles a la naturaleza del disolvente. Debido a la intensidad de los enlaces π del VO en los compuestos de vanadio(IV), la interpretación de los espectros electrónicos no es tan simple como lo sería en un complejo octaédrico corriente.¹

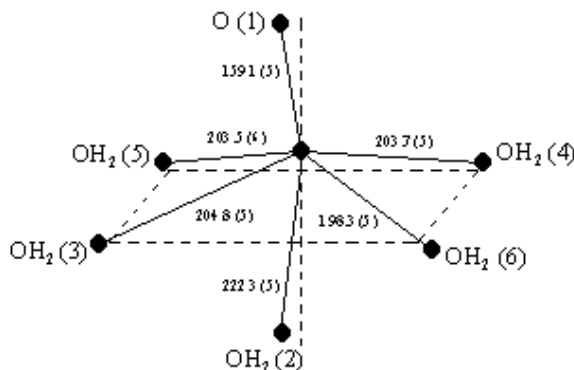


Figura 1. Estructura del ion $[\text{VO}(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ en la sal $\text{VOSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.¹

El ion vanadilo(IV) es uno de los iones biatómicos y el sistema d^1 más estable conocido. En efecto, se ha demostrado que este ion forma complejos, cuya estabilidad es superior a la de los formados por otros iones de tamaño y simetría esférica similar, lo cual corresponde a su carga efectiva > 2 , proveniente de la alta electronegatividad del oxígeno *apical* ligado al vanadio.^{7,8} Estas especies en general presentan una geometría de pirámide o bipirámide de base cuadrada, donde el oxígeno apical y el átomo de vanadio se encuentran en un eje perpendicular al plano formado por los átomos donantes del ligando. Pero, también se ha encontrado complejos con geometría de bipirámide trigonal, **figura 2.**¹

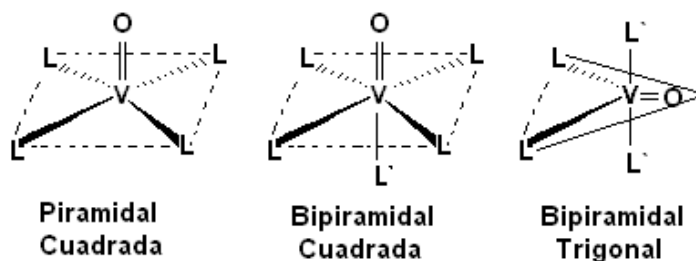


Figura 2. Geometrías del ion vanadilo.¹

En base a la estabilidad de sus complejos con acetilacetona, benzoinacetona, salicilaldehído, ácido oxálico y EDTA, el ion VO^{2+} ha sido situado en la serie Irving y Williams de iones metálicos divalentes de la primera serie de transición: $VO^{2+} \geq Cu^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+} > Mn^{2+}$.^{7,8} Como ocurre con todos los sistemas metal - ligando, cuando éste es polidentado, el ion VO^{2+} forma complejos mucho más estables que con ligandos monodentados debido al *efecto quelato*.⁹

1.3. Química de los aminoácidos

Los aminoácidos son los nutrientes que forman la base de las proteínas y su clasificación dependerá de si son esenciales o no. Además de una función común a todos, cada uno de los aminoácidos tiene sus propias funciones concretas.¹⁰

Los aminoácidos están formados por un carbono unido a un grupo carboxilo (-COOH), un grupo amino (-NH₂), un hidrógeno y una cadena R (cadena lateral) de composición variable, que determina las propiedades de los diferentes aminoácidos, **figura 4**. Como existen cientos de cadenas R, se conocen muchos aminoácidos diferentes. En los aminoácidos naturales, el grupo amino y el grupo carboxilo se unen al mismo carbono que recibe el nombre de alfa asimétrico.¹¹

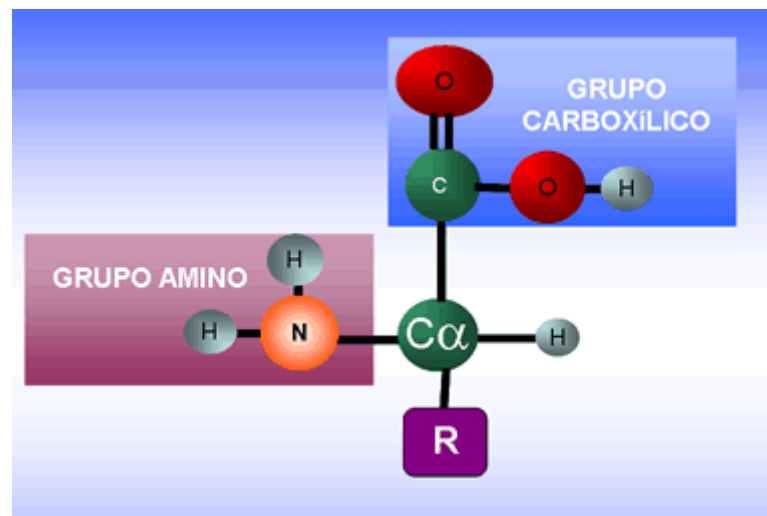


Figura 4. Estructura general de un aminoácido.¹¹

Como los cuatro sustituyentes del carbono α son distintos, los α -aminoácidos presentan isomería D o L. Las proteínas se sintetizan a partir de aminoácidos L.¹¹ Para distinguir un aminoácido L de un aminoácido D, debemos fijarnos en el carbono α , que tiene cuatro substituyentes formando un tetraedro. Luego hay que identificar al hidrogeno unido directamente a este carbono. Si orientamos este hidrógeno en el espacio, de modo que quede frente a nosotros y exactamente encima del carbono α , entonces, tendremos los tres átomos restantes que se unen al carbono, distribuidos en un triangulo, es decir, el grupo carbono carbonílico (CO), el nitrógeno amínico (N) y el carbono β que es el primer átomo de la cadena variable (o grupo R). Si leemos el orden de estos átomos, comenzando por el carbonilo y siguiendo la dirección de las manecillas del reloj, se formara la palabra CORN si el aminoácido es L y CONR si el aminoácido es D; de allí que esta regla sea conocida como *regla del maíz*, **figura 5**.¹²

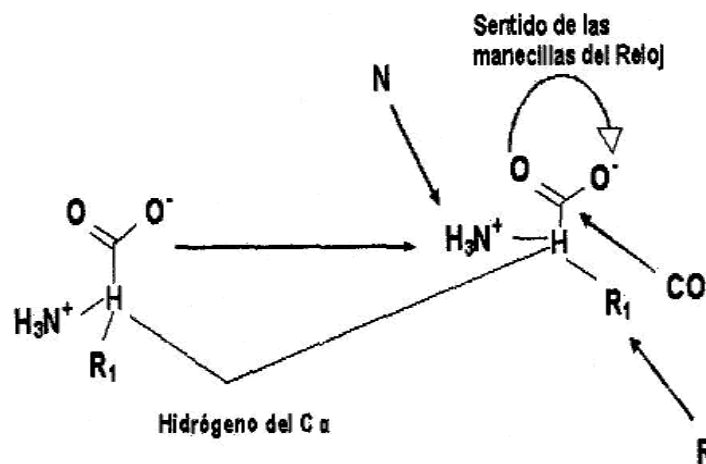


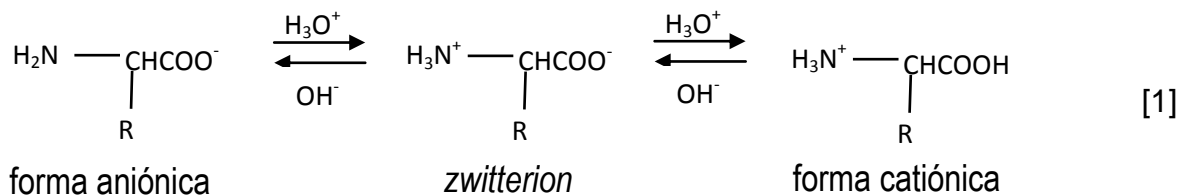
Figura 5. Regla para distinguir un aminoácido L de uno D.¹⁶

El código genético codifica 20 aminoácidos distintos con los que se sintetizan las proteínas en los ribosomas.¹¹

Las cadenas laterales de los aminoácidos determinan las propiedades químicas específicas y la conformación de los llamados polipéptidos. La característica más

importante de la cadena lateral es su naturaleza polar (hidrofílica), por ejemplo, en la cisteína. Cuando la cadena es no polar se dice que el aminoácido es hidrofóbico, por ejemplo, la leucina. Las cadenas laterales polares poseen los átomos electronegativos N, O y S; en cinco aminoácidos las cadenas laterales polares están cargadas (ionizadas) a pH 7 y en consecuencia, son solubles en agua, ya que forman fácilmente puentes de hidrogeno. En cambio en los aminoácidos con cadenas no polares que contienen solamente átomos de C y H, no forman puentes de hidrogeno y por consiguiente, son relativamente insolubles en agua. ¹⁴ La acidez o basicidad de los diversos grupos funcionales presentes en los aminoácidos se describe por lo general en términos de la constante de disociación de cada funcionalidad en su forma ácida protonada. Otros aminoácidos tienen grupos funcionales que participan en reacciones químicas importantes. ¹⁵

Debido a que los aminoácidos tienen un grupo carboxilo de naturaleza ácida y un grupo amino de naturaleza básica estos tienen comportamiento anfótero; así que es susceptible a los cambios de pH , por ejemplo, a pH bajo (ácido) se encuentran mayoritariamente en su forma catiónica (con carga positiva), y a pH alto (básico) se encuentran en su forma aniónica (con carga negativa). Sin embargo, existe un pH específico para cada aminoácido, donde la carga positiva y la carga negativa se encuentran en equilibrio, y el conjunto de la molécula es eléctricamente neutro. En este estado se dice que el aminoácido se encuentra en forma de *zwitterion* [1].^{11,12}



Los aminoácidos se clasifican como *esenciales*, si un sistema vivo específico debe obtenerlos de su dieta (por ejemplo: leucina, lisina, valina y treonina), o *no esenciales*, si puede sintetizarlos de forma interna, por ejemplo, cisteína.¹⁶

Los aminoácidos se agrupan en cuatro categorías según las propiedades de sus cadenas laterales. La **figura 6** muestra la diferencia de composición en el grupo radical.¹¹

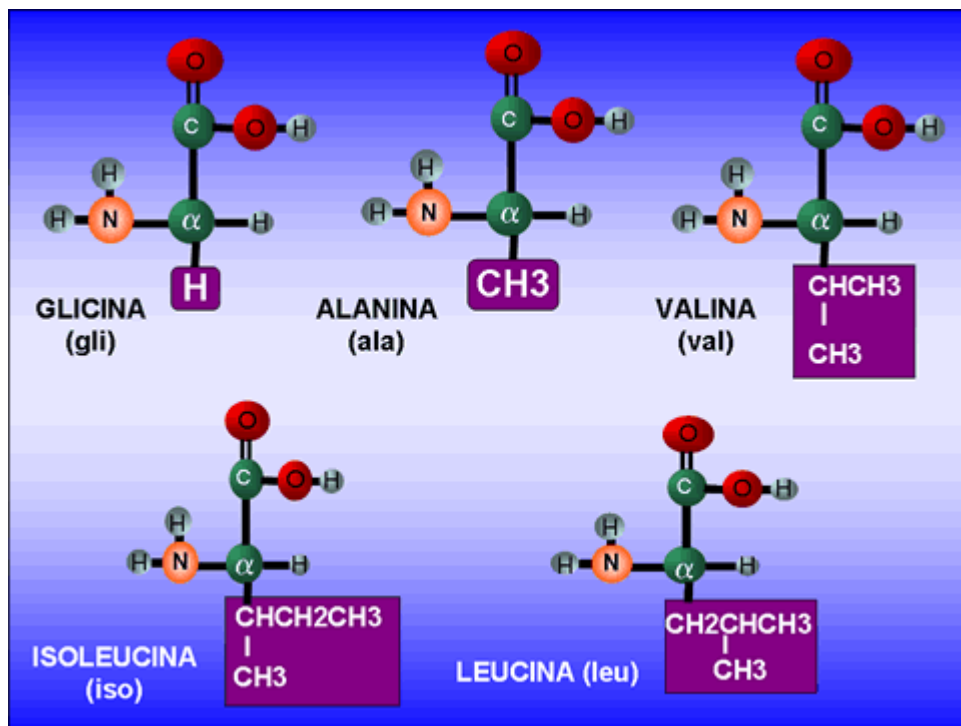


Figura 6. Cinco de los 20 aminoácidos para observar la diferencia de composición del grupo radical.¹¹

En la **figura 7** se muestran los diferentes aminoácidos ordenados en renglones, de acuerdo a la característica de su cadena lateral; en el primero se muestran los

aminoácidos neutros, en el segundo los neutros polares y en los renglones tercero y cuarto, los aminoácidos ácidos y básicos, respectivamente.¹⁷

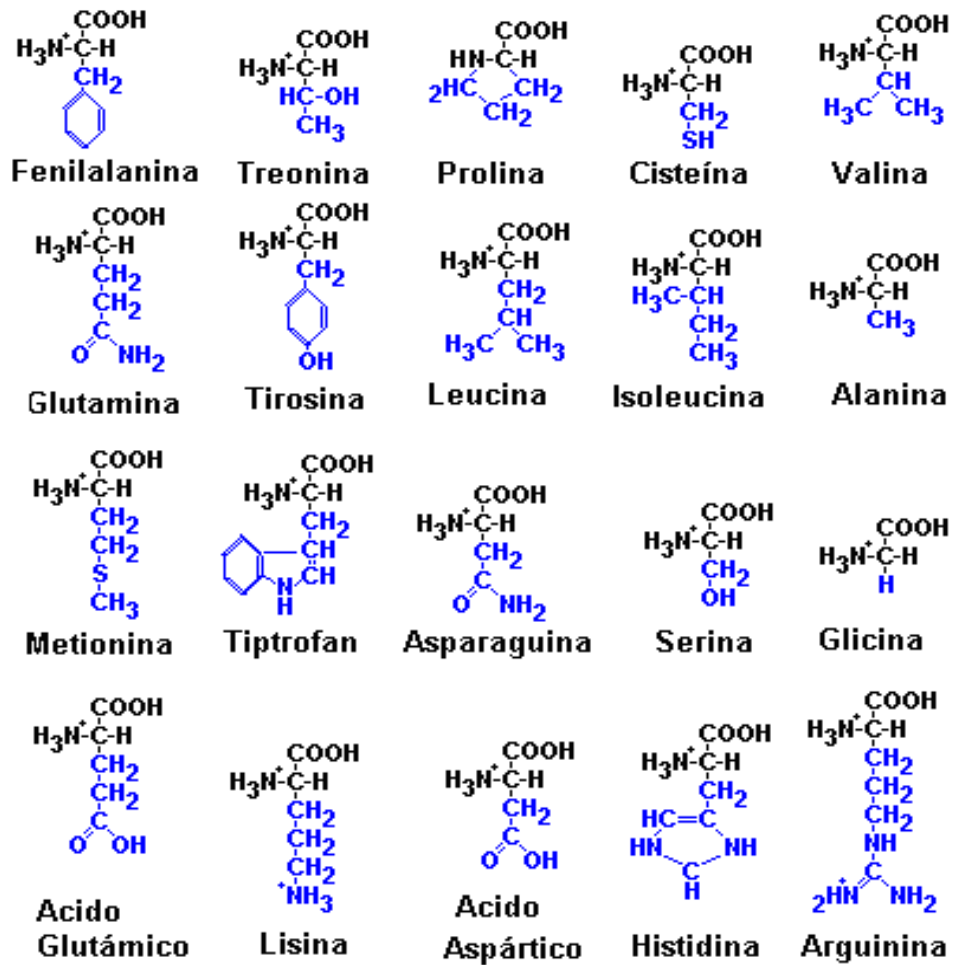


Figura 7. Estructura de los veinte aminoácidos conocidos. Los ocho primeros son no polares y los demás son polares.¹⁷

Algunas sales de los aminoácidos son muy pocos solubles en agua; propiedad ésta que ha resultado valiosa para aislar aminoácidos de los hidrolizados de proteínas.

1.3.1. Leucina

La leucina (ácido 2-amino-4-metil-pentanoico), **figura 8**, es un aminoácido *esencial*, que junto a la valina y la isoleucina conforman el grupo de los aminoácidos no polares ramificados. Su fórmula molecular es $C_6H_{13}O_2N$ y tiene un punto isoeléctrico de 5.98.

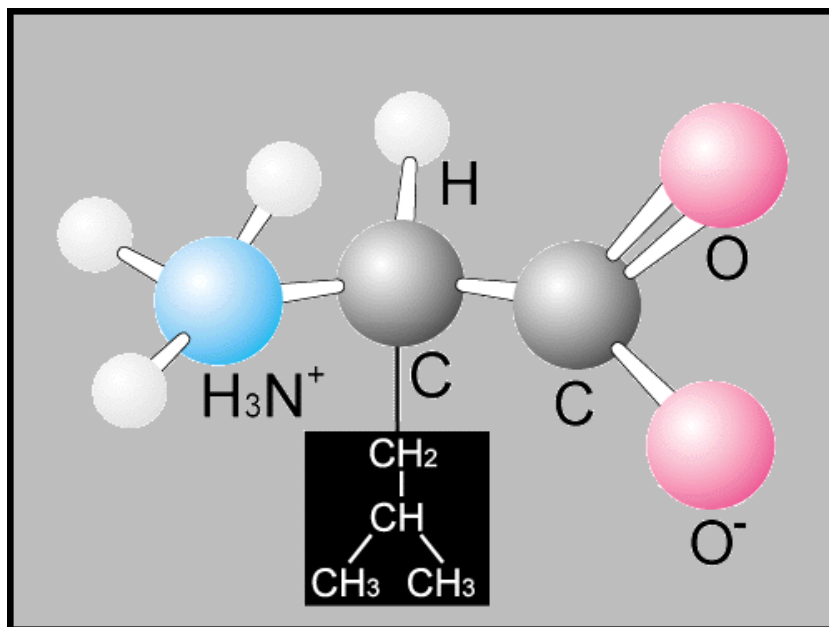


Figura 8. Estructura de la leucina. ¹³

La leucina es aminoácido neutro que forma parte del código genético esencial para la nutrición humana, es decir, debe ser proporcionado por una dieta en cantidades adecuadas para satisfacer las necesidades del organismo. ¹³

La frecuencia media de aparición de la leucina en las proteínas, 9%, ayuda a regular el nivel de azúcar de la sangre, el crecimiento y reparación del tejido muscular,

la producción de hormonas del crecimiento y la cicatrización de heridas. Puede colaborar en la prevención de las roturas fibrilares de los músculos que suelen producirse después de sufrir golpes, razón por la cual el organismo no puede metabolizar el aminoácido fenilalanina. La deficiencia de este nutriente es rara (sólo se ha observado en vegetarianos), ya que está presente en todas las comidas con proteínas; la deficiencia hereditaria de las enzimas involucradas en su metabolismo generan un conjunto de problemas conocidos como *desórdenes del metabolismo de la leucina*. En esos caso, el cuerpo no es capaz de degradar a uno de los muchos metabolitos del aminoácido esencial leucina, como resultado de lo cual su concentración en el cuerpo alcanza niveles tóxicos. Se han reportado aproximadamente 60 casos de esta enfermedad, que generalmente deriva en *acidosis metabólica* —la cual, si no es tratada, puede provocar trastornos neurológicos, coma y la muerte.¹³

Existe una amplia bibliografía acerca de la determinación de las constantes de acidez de la leucina. Diversos investigadores han utilizado varios métodos, medios iónicos y diferentes temperaturas para obtenerlas, **tabla 1**.

Tabla 1. Valores de pK_a de la leucina reportados en la bibliografía en medios iónicos conteniendo KCl y a diferentes temperaturas.

KCl / °C	pK_{a1}	pK_{a2}	Método utilizado	Referencias
0.1 M / 25	2.32	9.96	<i>emf</i> (H)	18
0.1 M / 25	-	9.58	"	19
0.1 M / 35	1.85	9.09	"	20
0.2 M / 25	-	9.77	"	16
1.0 M / 20	-	9.62	"	21
3.0 M / 25	2.78	9.95	"	22

Se observan pequeñas diferencias entre los valores de pK_{a2} de este ligando, mientras que para pK_{a1} son más marcadas.

1.4. Complejos de vanadio(IV) y leucina

No existen referencias bibliográficas acerca del sistema V(IV) - leucina, lo que motivo la realización del presente estudio. Tan sólo encontramos dos trabajos sobre el sistema V(III) - leucina.^{16,22} Se puede observar en la **tabla 2**, que los complejos de V(III) - leucina reportados son especies bastante fuertes. Esperemos que los de V(IV) - leucina tengan un comportamiento similar.

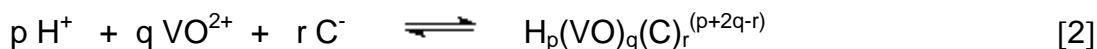
Tabla 2. Constantes de equilibrio β_{pqr} de los complejos del sistema V^{3+} - leucina reportadas en la bibliografía.

Especies	Log $\beta_{pqr}(3\sigma)$	
[HVC] ³⁺	-	22.2(1)
[HVC ₂] ²⁺	35.8	30.3(1)
VC ₃	-	31.8 (< 32,4)
[H ₂ VC ₃] ²⁺	-	41.6(2)
[HVC ₃] ⁺	-	36.9 (< 37.2)
Ref.	Kovalá et al. ¹⁶ KCl 0.2 M/25 °C	Hernández ²² KCl 3.0 M/25 °C

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Ley de acción de masas

En disolución acuosa la interacción de varios reactivos, por ejemplo, H , VO^{2+} y C^- para formar uno o varios complejos $H_p(VO)_qC_r$, brevemente (p, q, r) , según el esquema general de reacciones [2], se cuantifica el equilibrio por la ley de acción de masas [3].



$$c_{pqr} = \Phi_{pqr} \beta_{pqr} h^p b^q c^r \quad [3]$$

donde h , b y c son las concentraciones en equilibrio de los reactivos y $c_{pqr} = \Phi_{pqr} \beta_{pqr} h^p b^q c^r$, la concentración en equilibrio del complejo (p, q, r) ; β_{pqr} , es la constante de equilibrio y Φ_{pqr} el producto de los coeficientes de actividad de un determinado complejo (p, q, r) , respectivamente.

2.2. Escala de actividades

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+} , C^- y productos (p, q, r) mucho más baja que la de los iones del medio, 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. ²³

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.²⁴

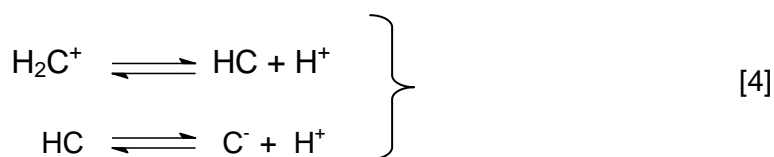
Experimentalmente, se ha demostrado que los coeficientes de actividad permanecen constantes e iguales a la unidad, dentro de los errores experimentales, siempre que las concentraciones de los reactivos y productos se mantengan a un nivel inferior a un 20% de la concentración de los iones del medio.²⁴

Lógicamente, las constantes de equilibrio solamente son válidas en la escala de actividades elegida, ya que, por ejemplo, en las escalas de actividades de los medios iónicos KCl 3.0 M y NaClO₄ 3.0 M, las especies $H_pB_qC_rL_s(H_2O)_xK_yCl_z$ y $H_pB_qC_rL_s(H_2O)_xNa_y(ClO_4)_z$ son similares, mas no la misma.²⁴

2.3. Nivel de reacciones

2.3.1. Sistema H⁺ - leucina

Para determinar las constantes de acidez de la leucina en términos de pK_a , se empleó el esquema de reacciones [4].



2.3.2. Sistema H⁺ - V(IV) – leucina

En el caso de las constantes de formación de los complejos β_{pqr} del sistema H⁺ - VO²⁺ - leucina, se empleó la reacción general [5].



3. OBJETIVOS

En el presente trabajo se estudiaron los sistemas H^+ - leucina y H^+ - V(IV)- leucina mediante medidas de $emf(H)$ y a 25 °C, utilizando como medio iónico inerte KCl 3.0 M. Esto forma parte de un proyecto que se está llevando a cabo en el Centro de Equilibrios en Solución, sobre la formación de complejos entre el V(III), V(IV), V(V) y valencia mixta con distintos aminoácidos.

Para llevar a cabo éste objetivo, se estudiaron los sistemas:

- H^+ -HC, con el fin de determinar las constantes de acidez del ligando leucina (H_2C), empleando medidas de fuerzas electromotrices $emf(H)$ en KCl 3.0 M a 25 °C.
- y H^+ -V(IV)-leucina, con el fin de determinar las constantes de formación de los complejos formados, empleando medidas de fuerzas electromotrices $emf(H)$ en KCl 3.0 M a 25 °C.

4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4.1. Reactivos y disoluciones

- a. Calibración del material volumétrico.
- b. Se utilizarán los siguientes reactivos.
 - HCl ampolla Fixanal Riedel-Haën 0.100 M.
 - KOH ampolla Fixanal Riedel-Haën 0.100 M.
 - KCl Merck p.a.
 - $\text{VOSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Merck p.a.
 - Leucina Merck p.a.
 - N_2 libre de CO_2
 - Agua tridestilada

A partir de los cuales se prepararon las siguientes disoluciones:

- ❖ **{mi}** \equiv disolución de medio iónico 3.0 M. Se empleó por pesada de KCl seco a 110 °C, el cual se disolvió y aforó con agua en atmósfera de N_2 .
- ❖ **{H}** \equiv disolución de KCl 3.0 M y HCl 0.100 M. Se empleó por pesada de KCl y adición de la ampolla de HCl; se aforó y normalizó frente a la disolución básica **{OH}**.
- ❖ **{OH}** \equiv disolución de KCl 3,0 M y KOH 0,100 M, igualmente por pesada de KCl y adición de la ampolla de KOH; se aforó en atmósfera de N_2 y normalizó frente a ftalato ácido de potasio ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$).
- ❖ El vanadio (IV) se empleó por pesada de la sal $\text{VOSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y la leucina por pesada del producto comercial seco.

4.2. Medidas de $emf(H)$

La medida de $emf(H)$ es el método más conveniente para la determinación de constantes de estabilidad, 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.

En este trabajo la concentración de los iones H^+ en equilibrio, h , se determinó mediante la pila [6], donde REF = KCl 3.0 M / KCl 3.0 M, Hg_2Cl_2 / Hg, Pt;



S = disolución problema en equilibrio y EV = electrodo de vidrio.

A 25 °C el potencial (mV) de la pila [6] viene dado por la ecuación [7], siendo E_0 el potencial normal y J, una constante relacionada con el potencial de difusión en la unión líquida //.

$$E = E_0 + J h + 59.16 \log h \quad [6]$$

Ahora bien, en disoluciones que sólo contengan ácido o base fuerte, se cumple el balance de H^+ [7].²⁴

$$h = H + K_w h^{-1} \quad [7]$$

A $pH < 7$ se tiene que $h = H$ y la ecuación [6] se transforma en la [8].

$$E - 59.16 \log H = E_0 + J H \quad [8]$$

En consecuencia, se puede comprobar el funcionamiento correcto de la pila [6], valorando con una alícuota de la solución $\{H\}$ por adiciones sucesivas de la disolución $\{OH\}$, hasta alcanzar el punto de equivalencia. ²⁵

4.3. Instrumentos de medida

La **figura 9** muestra un esquema del equipo empleado.

- (a) Electrodo de vidrio con referencia interna Radiometer pH2401-8 (a).
- (b) Potenciómetro Orión 420 A (b).
- (c) Baño - Termostato de agua fabricado en el CES (c).
- (d) Reactor de vidrio Metrohm EA 876-5 (d).
- (e) Material volumétrico calibrado.

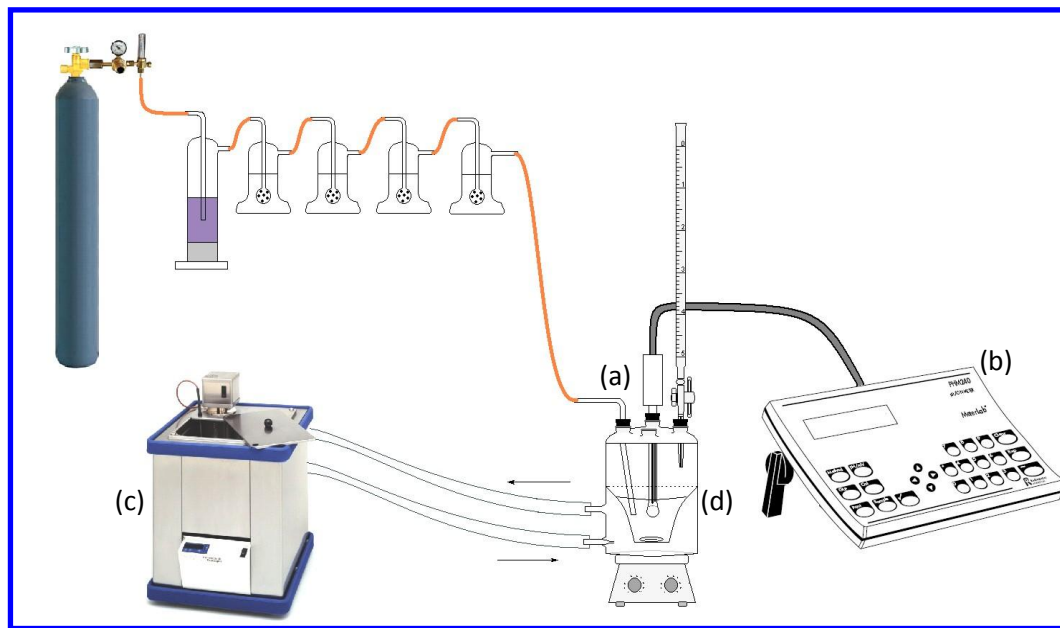


Figura 9. Esquema del equipo empleado. ²⁵

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, 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 termostatazo a 25.0 (5) °C.

Se realizaron varios experimentos, cada uno de los cuales comprendieron dos etapas.

La *etapa 1* fue una titulación ácido-base fuerte que permitía determinar los parámetros E_o y J de la pila [6].

En el estudio del sistema H^+ - leucina, después de culminar la *etapa 1*, en la *etapa 2* se agregaron cantidades pesadas del ligando y añadiendo entonces desde una bureta porciones de la disolución $\{H\}$, con la finalidad de determinar los valores de pKa del ligando.

En el estudio del sistema H^+ - V(IV)- leucina, después de culminar la *etapa 1*, en la *etapa 2* se agregaron cantidades pesadas del ligando y al disolverse éste completamente, se agregó una cantidad pesada de $VO_2SO_4 \cdot 5H_2O$, añadiendo entonces desde una bureta porciones de la disolución $\{H\}$, con la finalidad de determinar la estequiometría (p, q, r) y las constantes de estabilidad β_{pqr} de las especies formadas. Se utilizaron varias relaciones ligando:metal R .

4.5. Análisis de datos

Los datos experimentales $[H, B, C, E_o, J, (v, E)_{np}]_{ns}$ ($ns = n^\circ$ de experimentos, $np = n^\circ$ de puntos en cada experimento) fueron tratados utilizando el programa computacional de mínimos cuadrados generalizados LETAGROP. ²⁶

Para la *etapa 1* se minimizó la función [9] para obtener los valores de E_o y J de la pila [6].

$$U_1 = \sum (h - \mathbf{H})^2 \quad [9]$$

Los datos de la *etapa 2* fueron analizados minimizando las funciones [10] y [11], donde, $\theta_B = (\mathbf{H} - h) / \mathbf{B}$ y $\theta_C = (\mathbf{H} - h) / \mathbf{C}$ son el n° medio de protones asociados por mol de metal y ligando, respectivamente, así como la función [12].

$$U_2 = \sum (\theta_B - \theta_B^*)^2 \quad [10]$$

$$U_3 = \sum (\theta_C - \theta_C^*)^2 \quad [11]$$

$$U_4 = \sum (E - E^*)^2 \quad [12]$$

Las variables θ_B^* , θ_C^* y E^* representa los correspondientes valores teóricos calculados según el modelo de nk especies $(p, q, r, \beta_{pqr})_{nk}$ y $(p, q, \beta_{pq})_{nk}$ en cada caso.

Puesto que las sumas de mínimos cuadrados [9] y [12] se pueden considerar una función [13] de las nk constantes de estabilidad β_{pqr} y de los posibles errores,

$$U = U ((\beta_{pqr})_{nk}, (ks)_{nks}) \quad [13]$$

sistemáticos nks cometidos en la determinación de los parámetros E_0 y J y en las concentraciones totales \mathbf{H} , \mathbf{B} y \mathbf{C} de los reactivos involucrados, variando sistemáticamente la combinación de las nk especies y nks errores, se podrá encontrar el modelo $(p, q, r, \beta_{pqr})_{nk}$ que incluya todas las especies razonablemente posibles, hasta alcanzar un mínimo para [11] o bien, para la desviación típica [14], donde $n = ns^*np$ es el número de puntos experimentales.

$$\sigma(\theta) = \sqrt{\frac{U}{n-nk}} \quad [14]$$

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Sistema H⁺- leucina

La **figura 10** muestra los resultados en términos de $\theta_C(\log h)$, donde θ_C representa el número medio de protones asociados por mol de ligando.

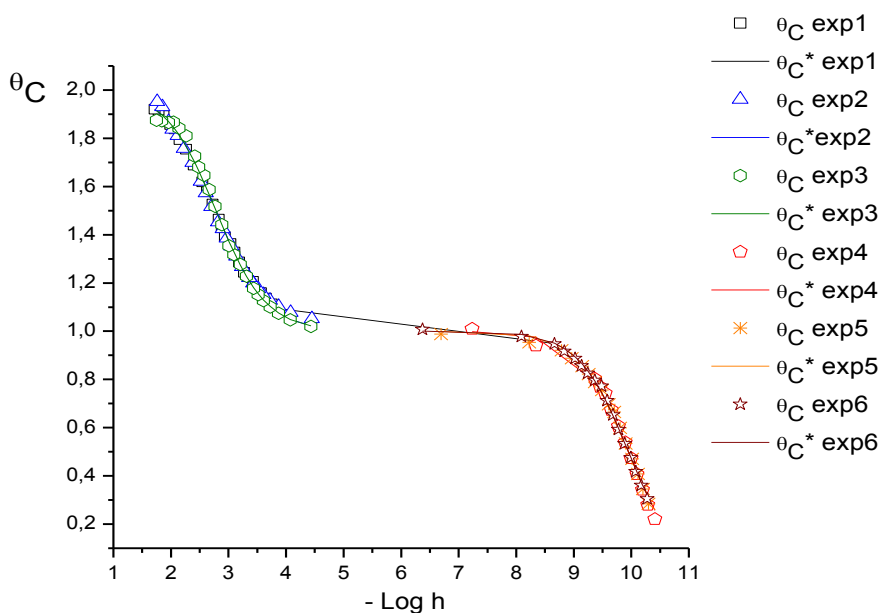


Figura 10. Datos $\theta_C(\log h)$ para el sistema H⁺ - leucina (KCl 3.0 M, 25 °C).

Como es usual, los puntos representan los datos experimentales y la línea trazo continuo fue calculada empleando los valores de pK_a mostrados en la **tabla 3**. Se observa una acentuada inflexión para $\theta_C = 1,0$, donde predomina la especie HC, así como tendencias para $\theta_C \sim 2$ y 0, que corresponden, respectivamente, a la toma de H⁺ por la especie HC neutra para formar el catión H₂C⁺, el cual predomina a pH ácidos y pérdida del mismo para formar el ión C⁻, que predomina a pH básicos.

Tabla 3. Constantes de acidez en términos de pK_a del sistema H^+ - leucina (HC) obtenidos en KCl 3.0 M y a 25 °C.

	pK_a
$H_2C^+ \rightleftharpoons H^+ + HC$	2.79 (2)
$HC \rightleftharpoons C^- + H^+$	9.95 (2)
	0.024

Con estos valores fue construido el correspondiente diagrama de distribución de especie **figura 11**.

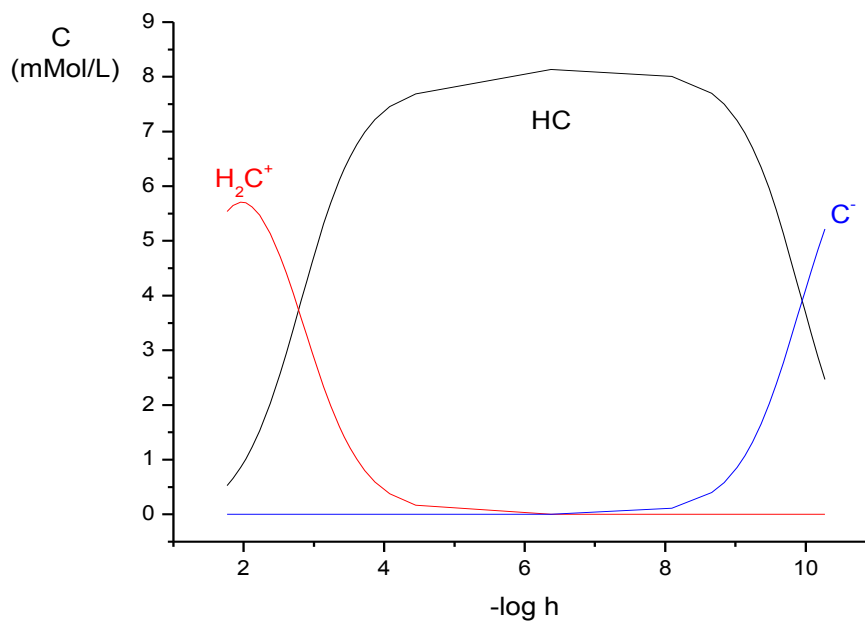


Figura 11. Diagrama de distribución de las especies del sistema H^+ - HC (KCl 3.0 M, 25 °C).

La **tabla 4** reúne a modo comparativo los valores de los pK_a obtenidos en este trabajo con los reportados en la bibliografía en diferentes medios iónicos, diferentes temperaturas y empleando medidas de $emf(H)$.

Tabla 4. Valores comparativos de pK_a de la leucina obtenidos en este trabajo y los reportados en la bibliografía en KCl como medio iónico.

KCl / °C	pK_{a1}	pK_{a2}	Ref.
0.1 M / 25	2.32	9.96	18
0.1 M / 25	-	9.58	19
0.1 M / 35	1.85	9.09	20
0.2 M / 25	-	9.77	16
1.0 M / 20	-	9.62	21
3.0 M / 25	2.78(2)	9.95(3)	22
3.0 M / 25	2.79(2)	9.95(3)	Este trabajo

5.2. Sistema H⁺- vanadio(IV)- leucina

Para el caso del sistema H⁺-V(IV)- leucina, fueron empleadas las tres relaciones ligando: metal, $R = 1, 4$ y 10 . Los datos fueron analizados según el esquema de reacciones [4], minimizando las funciones de formación θ_c , θ_b y el potencial E .

Las **figuras 11- 13** muestran los datos $\theta_c(pH)$, $\theta_b(pH)$ y $E(v)$ para las tres relaciones R . Como es usual los puntos representan los datos experimentales y las líneas continuas los datos calculados con las constantes de equilibrio β_{pqr} dadas en la **tabla 5**. Se observa un buen ajuste de los datos con el modelo de especies propuesto, el cual comprende los complejos $[HVOC]^{2+}$ y $[H_2VOC_2]^{2+}$.

Tabla 5. Constantes de estabilidad β_{pqr} del sistema H⁺ - VO²⁺ -HC (KCl 3.0 M, 25 °C), según la reacción general [4].

especies	log β_{pqr}				
	$[HVOC]^{2+}$	11.71(8)	11.83(2)	11.93(8)	11.99(3)
$[H_2VOC_2]^{2+}$	23.2(1)	22.5 (max. 22.9)	23.140(1)	23.3(3)	22.9(3)
$\sigma(\theta_B)$	0.052				
$\sigma(\theta_C)$		0.013			
$\sigma(\theta_{Bf})$			0.035		
$\sigma(\theta_{cf})$				0.130	
$\sigma(E) / mV$					1.3

El intervalo de pH empleado fue solamente entre 1 y 4.5 debido a problemas de precipitación en las condiciones experimentales usadas, bien debido a la formación de $VO(OH)_2$ o a la solubilidad del ligando, el cual a altas relaciones R toma características de surfactante, impidiendo continuar el experimento.

En la **figura 11** se muestran los datos de $\theta_C(\log h)$ para las tres relaciones R empleadas. Las curvas se superponen para las diferentes relaciones R , lo que sugiere que el sistema se hace independiente de la concentración de ligando empleada. Sin embargo, al analizar los datos con la función de formación $\theta_B(pH)$, **figura 12**, las curvas se separan en todo el intervalo de pH empleado al aumentar la concentración de ligando. En principio, esto se debe a la formación de los complejos formados son especies bastante fuerte.

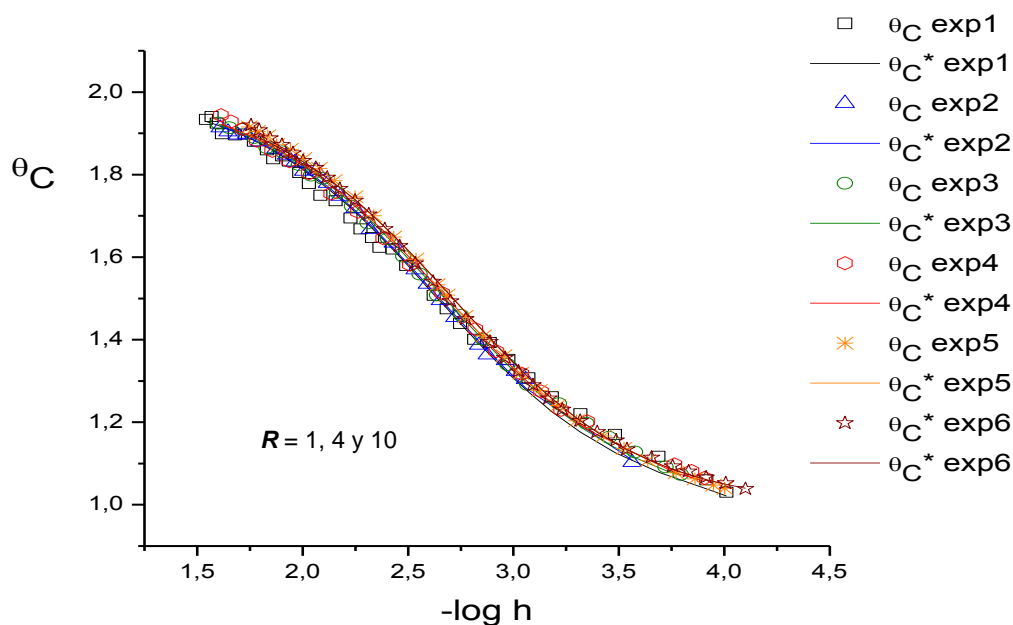


Figura 11. Datos $\theta_C(pH)$ para el sistema $H^+ - VO^{2+} - C^-$, (KCl 3.0 M, $25^\circ C$).

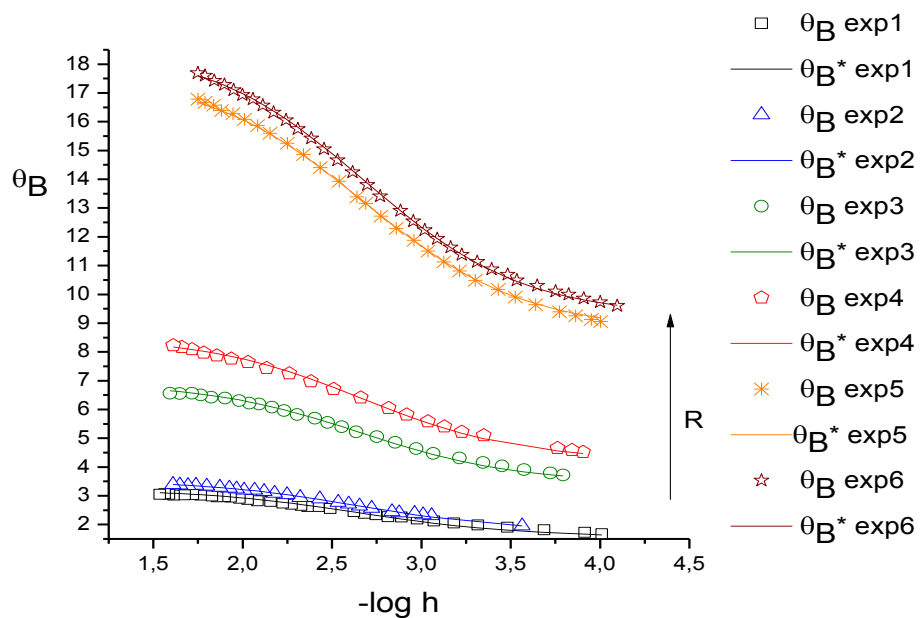


Figura 12. Datos θ_B (pH) para el sistema $H^+ - VO^{2+} - C^-$ (KCl 3.0 M, 25 °C).

Finalmente, en la **figura 13** se muestran los resultados en términos de $E(v)$.

En todos los casos, se observa un muy buen ajuste entre los datos y el modelo propuesto.

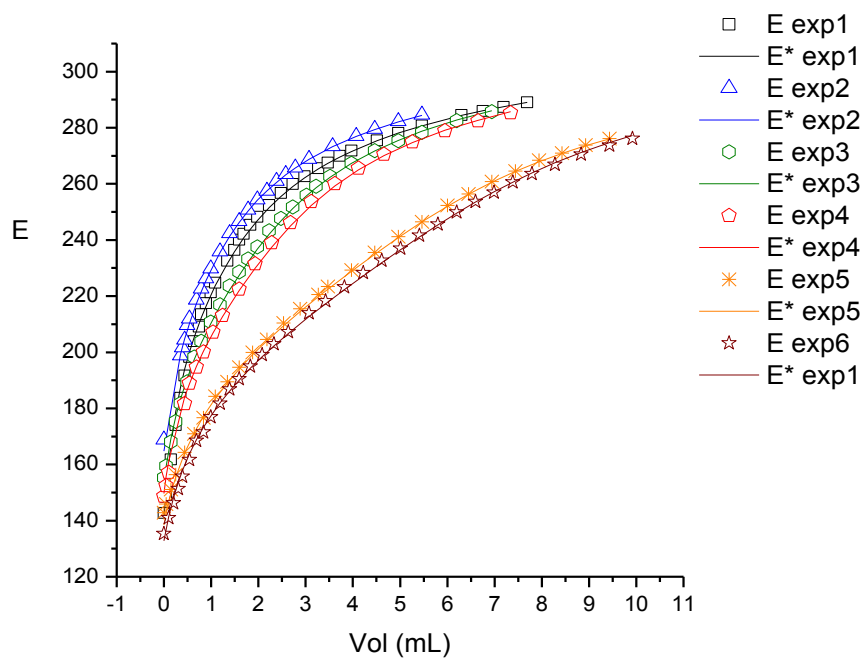


Figura 13. Datos E(v) para el sistema $H^+ - VO^{2+} - C^-$ (KCl 3.0 M, 25 °C).

A partir de las constantes de la **tabla 5** se construyeron los diagramas de distribución de especies de las, **figuras 14 - 16**.

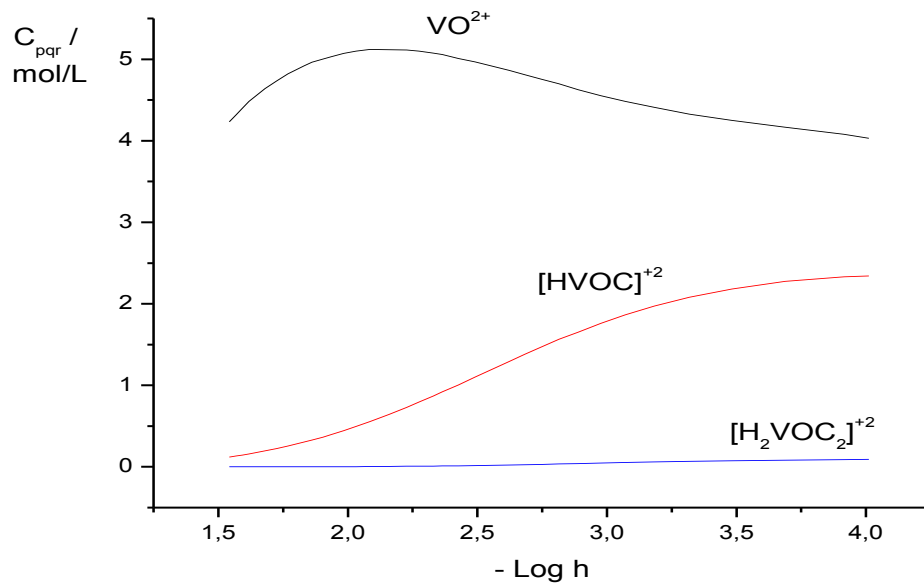


Figura 14. Diagrama de distribución de especies en función del pH para $R = 2$.

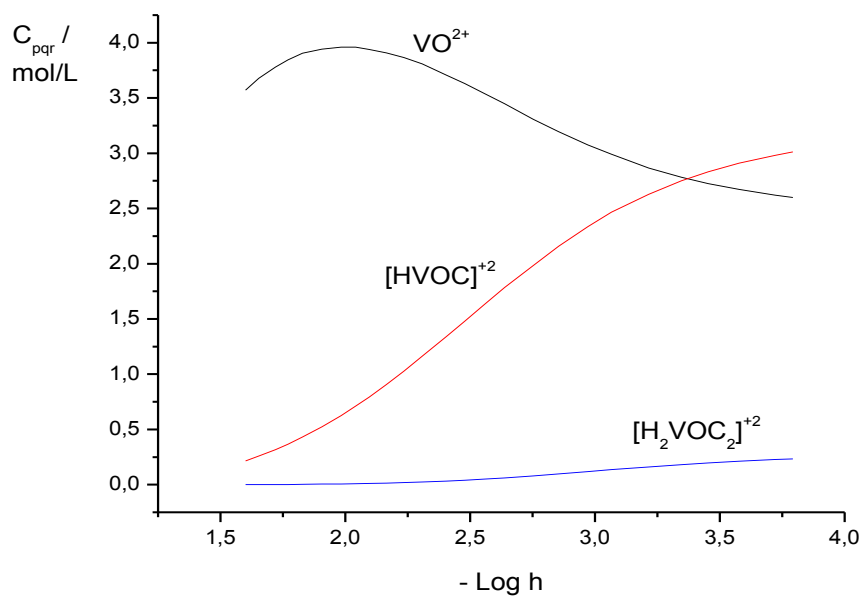


Figura 15. Diagrama de distribución de especies en función del pH para $R = 4$.

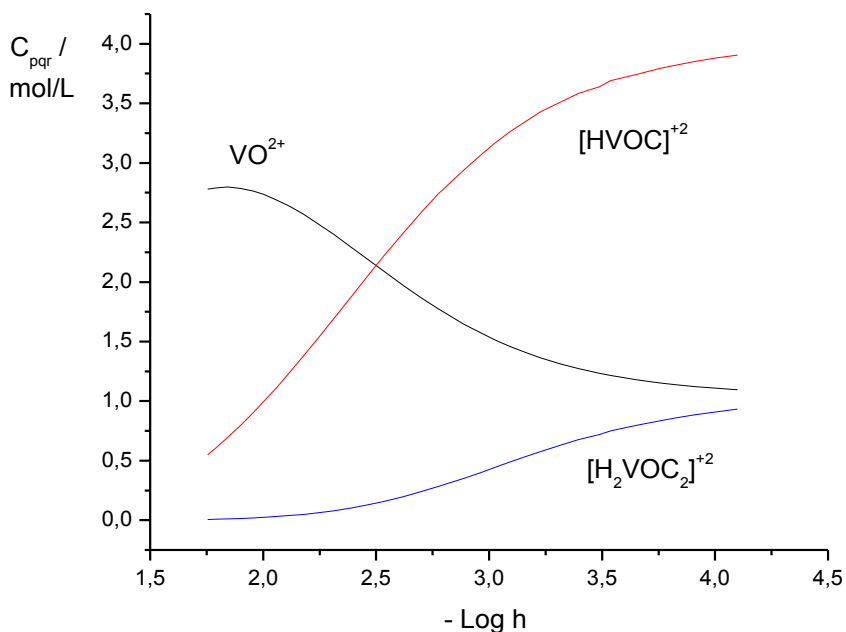


Figura 16. Diagrama de distribución de especies en función del pH para $R = 10$.

Se observa que a medida que aumenta R y pH hay una disminución de la concentración de metal libre y un aumento considerable en las concentraciones de los complejos $[\text{HVOC}]^{2+}$ y $[\text{H}_2\text{VOC}_2]^{2+}$. También podemos ver que la especie predominante independientemente de la relación R es la $[\text{HVOC}]^{2+}$ sobre todo a la región de pH comprendida entre 3 y 4.

A modo comparativo en la **tabla 6**, se presenta un resumen de los valores de las constantes estabilidad β_{pqr} obtenidos para el sistema H^+ - V(IV) - valina (KCl 3.0 M, 25 °C) ²⁵ y el sistema H^+ - V(IV) - leucina (KCl 3.0 M, 25 °C) obtenido en este trabajo.

Se observa una gran similitud en las especies encontradas en ambos casos, el complejo $[\text{HVOC}]^{2+}$ es común para ambos aminoácidos y sus constantes muy parecidas, como era de esperarse ya que las estructuras de la valina y la leucina son

muy similares, solo se diferencian en el largo de la cadena carbonada, **figura 17a y 17b**.

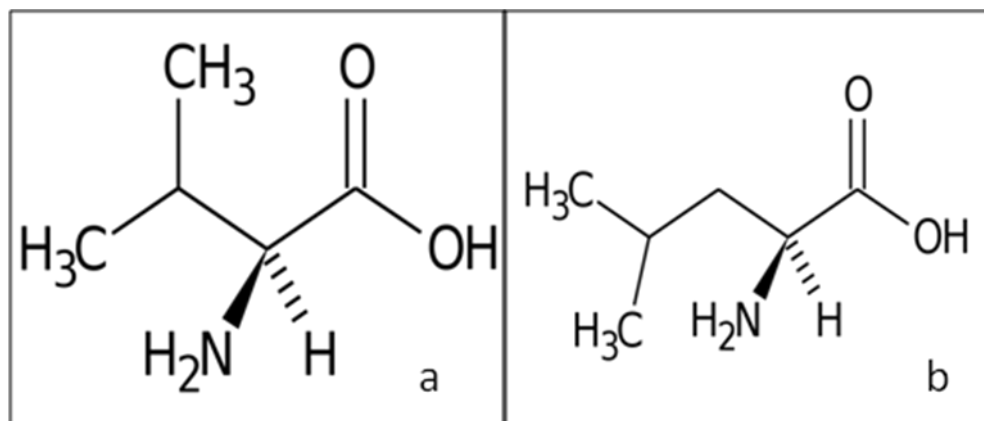


Figura 17. a) Estructura de la valina, b) Estructura de la leucina.

Tabla 7. Valores comparativos de las constantes de equilibrio β_{pqr} de los sistemas H^+ -V(IV) - valina y H^+ -V(IV) -leucina, obtenidas en KCl 3.0 M a 25 °C.

Especies	Log β_{pqr}	
	$[HVOC]^{2+}$	11,85(6)
$[VOC]^+$	7,56(9)	-
$[H_2VOC_2]$	-	23.140(1)
Ref.	Matos J. ²⁵	Este Trabajo

6. CONCLUSIONES

1. Se determinaron las constantes de acidez de la leucina mediante medidas de $emf(H)$, utilizando como medio iónico KCl 3.0 M y a 25°C. El análisis de los datos $emf(H)$ por medio de LETAGROP, arrojó los siguientes valores de pK_a : $pK_{a1} = 2.78(2)$ y $pK_{a2} = 9,95(2)$.
2. Se estudió el sistema $H^+ - VO^{2+} -$ leucina también en KCl 3.0 M y a 25 °C por medio de medidas $emf(H)$. El análisis de los datos por medio de LETAGROP indica la presencia de las especies: $[HVOC]^{2+}$ ($\log \beta_{pqr} = 11.83(2)$) y $[H_2VOC_2]^{2+}$ ($\log \beta_{pqr} = 22.5$ (max. 22.9))

7. BIBLIOGRAFIA

1. F. Cotton, G. Wilkinson. *Advances Inorganic Chemistry*. 5th Ed., versión en castellano (1988).
2. Enciclopedia Barsa, tomo 1, EE.UU. (1957).
3. Ch. Baes, R. Mesmer, The Hydrolysis of Cations, John Willey & Sons, Nueva York (1976), p. 199.
4. L. V. Boas, J. C. Pessoa, Vanadium, en G. Wilkinson (Ed.), Comprehensive Coordination Chemistry, Vol. 3 (1987), p. 487.
5. Selbin, *Chem. Rev.*, 65, 154 (1965).
6. F. Brito, J. Ascanio y M. Franceschetto, *Ibidem*, 70, 465 (1974).
7. M. Goncalves, Termodinámica del Sistema Vanadio (IV)-acetilacetona (KCl 3.0 M, 25 °C)₁ TEG., LES, Facultad de Ciencias, UCV (1973).
8. R. Trujillo y F. Brito. *An. Fís. Quím. (Madrid)*, 53B, 441 (1957).
9. Martell y M. Calvin, *Chemistry of Metal Chelate Compounds*, Prentice Hall, Nueva York (1952), p. 134.
10. M.L. Araujo, *Contribución al Estudio de Complejos de Vanadio y Aminoácidos en solución acuosa*, Trabajo de ascenso a profesor Titular CES, UCV (2007).
11. M. Pine, Química Orgánica, 4^a ed., McGraw-Hill, México (1988).
12. T.W.G. Solomons, Química Orgánica, Limusa, México (1987).
13. Lehninger, Bioquímica, Ediciones Omega S.A, 7^o ed., Barcelona, España (1983).

14. J. Fruton, S. Simmonds, Bioquímica General, Edición en español, Barcelona (1961).
15. D. Marcano, L. Cortés, Fundamentos de Química Orgánica, (1998).
16. Kolvala D., Demertzis M., *Bull.Soc.Chim.Fr.*,1,558 (1986).
17. R. D. Monasterios. *Estudio de los Complejos de Vanadio(IV) y los Aminoácidos Glicina, Cisteína y Acido Glutámico por medio de Medidas de Fuerza Electromotrices (KCl 1.5 M 25 °C)*, Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, UCV (1992).
18. Sovago I., Kiss T., Gergely A, *Pure & Appl.Chem.*,65,1029 (1993).
19. M Shoukry M., *J.Inorg.Biochem.*,48, 271 (1992).
20. Sekhon B., Singh P., Chopra S., *Indian J.Chem.*,9,485 (1971).
21. Perrin D., *J.Chem.Soc.*,290 (1959).
22. D. Hernández, *Estudio de los complejos de V(III) y el aminoácido leucina*. TEG, Fac. de Ciencias UCV (2009).
23. Sillén L.G., *Master Variables and Activity Scales*, en *Advances in Inorganic Chemistry Series*, 65(3), 45 (1967).
24. Biederman G., Sillén L., *Arkiv. Kemi.*, 5, p. 425 (1952).
25. Matos J., *Complejos de Vanadio(IV) y Aminoácidos. Sistema VO²⁺ - valina (KCl 3.0 m, 25 °C)*. TEG, Fac. de Ciencias UCV (2007).
26. Sillén L., Warsquist O., *Arkiv. Kemi.*, **31** p. 315 (1962).

Apéndice 1. Tabla de los datos para el sistema H^+ - leucina.

Experimento 1

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_c	θ_{c^*}	error
0.99	-132.8	8.691	0.0777	-0.0522	-0.1300
1.09	159.4	3.751	0.1132	0.0970	-0.0163
1.14	165.3	3.651	0.1369	0.1190	-0.0179
1.19	170.4	3.565	0.1601	0.1415	-0.0186
1.29	178.5	3.428	0.2060	0.1842	-0.0218
1.39	187.7	3.273	0.2440	0.2442	0.0002
1.49	193.0	3.183	0.2868	0.2843	-0.0025
1.59	197.7	3.104	0.3282	0.3229	-0.0053
1.68	201.8	3.034	0.3630	0.3587	-0.0043
1.78	207.3	2.941	0.3922	0.4093	0.0171
1.88	210.7	2.884	0.4290	0.4416	0.0126
1.98	213.9	2.830	0.4641	0.4725	0.0084
2.18	220.0	2.727	0.5269	0.5318	0.0050
2.38	225.8	2.629	0.5778	0.5874	0.0096
2.57	230.7	2.546	0.6193	0.6327	0.0135
2.97	239.3	2.399	0.6887	0.7070	0.0183
3.46	247.4	2.262	0.7541	0.7680	0.0139
3.96	254.1	2.149	0.7938	0.8114	0.0176
4.45	259.0	2.065	0.8387	0.8390	0.0003
4.95	263.5	1.989	0.8562	0.8614	0.0051
5.44	267.2	1.926	0.8675	0.8778	0.0102
5.94	270.2	1.875	0.8937	0.8898	-0.0039
6.93	275.3	1.788	0.9154	0.9080	-0.0075
7.92	279.4	1.718	0.9205	0.9206	0.0001

Experimento 2

$V_{\text{KOH}} \text{ (mL)}$	$E \text{ (mV)}$	pH	θ_c	θ_c^*	error
0.05	118.0	4.451	0.0516	0.0210	-0.0306
0.10	139.9	4.081	0.0773	0.0478	-0.0295
0.15	152.4	3.870	0.1025	0.0756	-0.0269
0.20	161.1	3.723	0.1273	0.1029	-0.0244
0.25	167.9	3.608	0.1516	0.1300	-0.0216
0.30	173.4	3.515	0.1758	0.1562	-0.0196
0.35	178.3	3.432	0.1992	0.1830	-0.0162
0.40	182.4	3.363	0.2226	0.2081	-0.0146
0.50	189.6	3.241	0.2677	0.2580	-0.0097
0.60	195.6	3.139	0.3113	0.3052	-0.0061
0.70	200.8	3.052	0.3531	0.3497	-0.0034
0.79	205.5	2.972	0.3863	0.3924	0.0061
0.89	209.7	2.901	0.4241	0.4319	0.0078
0.99	214.5	2.820	0.4526	0.4782	0.0257
1.19	221.3	2.705	0.5162	0.5443	0.0281
1.39	227.1	2.607	0.5731	0.5995	0.0264
1.59	232.3	2.519	0.6212	0.6470	0.0258
1.98	240.7	2.378	0.6996	0.7172	0.0176
2.48	249.6	2.228	0.7575	0.7818	0.0244
2.97	255.9	2.122	0.8117	0.8207	0.0090
3.46	261.3	2.031	0.8376	0.8494	0.0118
3.96	265.6	1.958	0.8690	0.8695	0.0005
4.95	272.1	1.849	0.9307	0.8955	-0.0352
5.94	277.3	1.762	0.9523	0.9129	-0.0394

Experimento 3

$V_{\text{KOH}} \text{ (mL)}$	$E \text{ (mV)}$	pH	θ_c	θ_{c^*}	error
0.10	115.4	4.431	0.0199	0.0219	0.0021
0.15	136.6	4.073	0.0472	0.0487	0.0015
0.20	148.6	3.870	0.0741	0.0755	0.0014
0.25	157.2	3.725	0.1006	0.1025	0.0019
0.30	163.9	3.611	0.1266	0.1290	0.0024
0.35	169.5	3.517	0.1521	0.1556	0.0034
0.40	174.1	3.439	0.1776	0.1806	0.0029
0.50	181.5	3.314	0.2282	0.2272	-0.0010
0.60	187.9	3.207	0.2766	0.2734	-0.0032
0.70	194.7	3.092	0.3175	0.3289	0.0113
0.79	199.5	3.011	0.3546	0.3712	0.0166
0.99	207.0	2.885	0.4419	0.4412	-0.0007
1.19	214.0	2.767	0.5173	0.5087	-0.0086
1.39	219.9	2.668	0.5870	0.5654	-0.0216
1.59	225.3	2.577	0.6467	0.6157	-0.0310
1.78	230.8	2.485	0.6799	0.6645	-0.0154
1.98	235.0	2.415	0.7257	0.6995	-0.0261
2.48	244.0	2.265	0.8105	0.7667	-0.0438
2.97	251.6	2.140	0.8414	0.8145	-0.0269
3.46	257.4	2.044	0.8670	0.8454	-0.0216
3.96	262.5	1.961	0.8660	0.8688	0.0027
4.95	269.9	1.840	0.8723	0.8974	0.0250
5.94	275.4	1.752	0.8752	0.9146	0.0394

Experimento 4

$V_{\text{KOH}} \text{ (mL)}$	$E \text{ (mV)}$	pH	θ_c	θ_{c^*}	error
0.00	-43.0	7.237	0.0095	-0.0019	-0.0114
0.10	-108.6	8.346	-0.0603	-0.0243	0.0360
0.30	-169.0	9.367	-0.1970	-0.2073	-0.0103
0.35	-174.8	9.465	-0.2311	-0.2469	-0.0158
0.39	-179.8	9.550	-0.2581	-0.2848	-0.0268
0.49	-186.0	9.655	-0.3265	-0.3364	-0.0099
0.59	-193.4	9.780	-0.3941	-0.4034	-0.0094
0.69	-200.3	9.896	-0.4610	-0.4694	-0.0084
0.79	-206.2	9.996	-0.5275	-0.5267	0.0008
0.89	-212.4	10.101	-0.5928	-0.5862	0.0066
0.99	-218.0	10.196	-0.6575	-0.6379	0.0196
1.09	-223.6	10.290	-0.7208	-0.6866	0.0341
1.19	-230.7	10.410	-0.7797	-0.7428	0.0369

Experimento 5

$V_{\text{KOH}} \text{ (mL)}$	$E \text{ (mV)}$	pH	θ_c	θ_{c^*}	error
0.00	-4.2	6.691	-0.0125	-0.0004	0.0121
0.05	-103.4	8.223	-0.0460	-0.0184	0.0276
0.10	-137.1	8.790	-0.0791	-0.0647	0.0144
0.15	-147.4	8.963	-0.1124	-0.0934	0.0190
0.20	-158.4	9.149	-0.1454	-0.1365	0.0089
0.25	-165.0	9.260	-0.1785	-0.1697	0.0088
0.30	-171.4	9.368	-0.2115	-0.2078	0.0037
0.35	-178.6	9.490	-0.2441	-0.2577	-0.0136
0.44	-185.5	9.607	-0.3033	-0.3123	-0.0089
0.49	-191.3	9.705	-0.3354	-0.3627	-0.0272
0.59	-197.4	9.808	-0.4007	-0.4191	-0.0184
0.69	-203.1	9.904	-0.4656	-0.4739	-0.0083
0.79	-209.5	10.012	-0.5294	-0.5361	-0.0067
0.89	-215.6	10.116	-0.5922	-0.5944	-0.0021
0.99	-220.7	10.202	-0.6549	-0.6412	0.0137
1.09	-226.6	10.301	-0.7153	-0.6922	0.0232

Experimento 6

$V_{\text{KOH}} \text{ (mL)}$	$E \text{ (mV)}$	pH	θ_c	θ_{c^*}	error
0.00	-4.2	6.373	0.0079	-0.0000	-0.0079
0.05	-103.4	8.094	-0.0226	-0.0137	0.0089
0.10	-137.1	8.664	-0.0529	-0.0492	0.0037
0.15	-147.4	8.838	-0.0833	-0.0717	0.0116
0.20	-158.4	9.024	-0.1136	-0.1060	0.0076
0.25	-165.0	9.135	-0.1439	-0.1329	0.0109
0.30	-171.4	9.243	-0.1741	-0.1644	0.0097
0.35	-178.6	9.365	-0.2040	-0.2065	-0.0026
0.39	-185.5	9.482	-0.2275	-0.2540	-0.0265
0.49	-191.3	9.580	-0.2879	-0.2991	-0.0112
0.59	-197.4	9.683	-0.3479	-0.3511	-0.0033
0.69	-203.1	9.779	-0.4076	-0.4032	0.0044
0.79	-209.5	9.887	-0.4664	-0.4643	0.0022
0.89	-215.6	9.991	-0.5248	-0.5236	0.0012
0.99	-220.7	10.077	-0.5829	-0.5727	0.0102
1.09	-226.6	10.177	-0.6396	-0.6277	0.0118
1.19	-232.4	10.275	-0.6951	-0.6788	0.0163

Apéndice 1^a. Datos para el diagrama de distribución H⁺- lecina.

pH	b	2	3
1,762	0,528	5,537	0
1,849	0,659	5,647	0
1,958	0,857	5,71	0
2,031	1,01	5,697	0
2,122	1,229	5,622	0
2,228	1,527	5,473	0
2,378	2,025	5,135	0
2,519	2,573	4,716	0
2,607	2,947	4,411	0
2,705	3,385	4,042	0
2,82	3,912	3,586	0
2,901	4,28	3,254	0
2,972	4,6	2,97	0
3,052	4,944	2,659	0
3,139	5,309	2,332	0
3,241	5,697	1,981	0
3,363	6,11	1,605	0
3,432	6,319	1,415	0
3,515	6,542	1,211	0
3,608	6,762	1,01	0
3,723	6,99	0,802	0
3,87	7,221	0,59	0
4,081	7,456	0,375	0
4,451	7,686	0,165	0
6,373	8,136	0,002	0,002
8,094	8,008	0	0,112
8,664	7,701	0	0,399
8,838	7,5	0	0,58
9,024	7,205	0	0,854
9,135	6,971	0	1,069
9,243	6,701	0	1,318
9,365	6,347	0	1,652
9,482	5,956	0	2,028
9,58	5,568	0	2,376
9,683	5,13	0	2,776

9,779	4,696	0	3,172
9,887	4,195	0	3,635
9,991	3,713	0	4,08
10,077	3,314	0	4,441
10,177	2,873	0	4,845
10,275	2,467	0	5,215

Apéndice 2 . Tabla de datos para el sistema H^+ - V (IV) – leucina.

Experimento 1

Relación 2:1

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_c	θ_{c^*}	error
0	142,7	4,011	1,0303	1,0215	-0,0088
0,05	148,4	3,915	1,0605	1,0383	-0,0222
0,15	161,8	3,688	1,1175	1,0791	-0,0384
0,25	174	3,482	1,1704	1,1265	-0,0439
0,35	183,7	3,318	1,2206	1,1757	-0,0449
0,44	191,7	3,183	1,2618	1,2255	-0,0363
0,54	198,3	3,071	1,3077	1,2732	-0,0345
0,64	203,9	2,977	1,3519	1,318	-0,0338
0,74	209,1	2,889	1,3928	1,3628	-0,03
0,79	213,5	2,814	1,401	1,4025	0,0015
0,89	217,5	2,747	1,4393	1,4399	0,0006
0,99	221,3	2,683	1,4745	1,476	0,0015
1,09	224,8	2,623	1,5076	1,5096	0,002
1,34	232,6	2,492	1,5798	1,5836	0,0039
1,49	236,5	2,426	1,6195	1,6196	0,0001
1,59	240,1	2,365	1,6234	1,6516	0,0282
1,69	242,2	2,329	1,6471	1,6698	0,0227
1,83	245,4	2,275	1,6683	1,6966	0,0283
1,98	248,3	2,227	1,6944	1,7195	0,0251
2,23	252,4	2,158	1,7367	1,7505	0,0138
2,48	256,7	2,085	1,7495	1,7806	0,031
2,73	259,9	2,031	1,7779	1,8013	0,0234
2,98	262,7	1,984	1,805	1,8183	0,0133
3,27	265,6	1,935	1,8326	1,8348	0,0022
3,47	267,5	1,903	1,8448	1,845	0,0002
3,72	270	1,861	1,8378	1,8575	0,0197
3,97	271,8	1,831	1,8598	1,8661	0,0064
4,51	275,5	1,769	1,8809	1,8825	0,0016
4,96	278,1	1,725	1,8981	1,893	-0,0051
5,46	280,8	1,68	1,896	1,903	0,0071
6,3	284,5	1,618	1,8988	1,9156	0,0168

6,75	286	1,593	1,9248	1,9203	-0,0045
7,19	287,4	1,569	1,9405	1,9245	-0,016
7,69	289	1,542	1,9337	1,929	-0,0047

$V_{\text{KOH}} \text{ (mL)}$	$E \text{ (mV)}$	pH	θb	θb^*	error
0	142,7	4,01	1,6783	1,638	-0,0402
0,05	148,4	3,914	1,7267	1,6652	-0,0615
0,15	161,8	3,687	1,8182	1,7308	-0,0875
0,25	174	3,481	1,9032	1,8065	-0,0967
0,35	183,7	3,317	1,9839	1,8855	-0,0983
0,44	191,7	3,182	2,05	1,9661	-0,084
0,54	198,3	3,07	2,1236	2,0436	-0,08
0,64	203,9	2,976	2,1945	2,1169	-0,0776
0,74	209,1	2,888	2,2602	2,1905	-0,0698
0,79	213,5	2,813	2,2733	2,2557	-0,0176
0,89	217,5	2,746	2,3347	2,3174	-0,0173
0,99	221,3	2,681	2,3912	2,377	-0,0141
1,09	224,8	2,622	2,4442	2,4324	-0,0118
1,34	232,6	2,49	2,5598	2,5544	-0,0053
1,49	236,5	2,424	2,6233	2,6135	-0,0099
1,59	240,1	2,364	2,6293	2,6658	0,0365
1,69	242,2	2,328	2,6673	2,6955	0,0282
1,83	245,4	2,274	2,701	2,739	0,038
1,98	248,3	2,225	2,7406	2,7767	0,0361
2,23	252,4	2,156	2,8073	2,8268	0,0195
2,48	256,7	2,083	2,826	2,8749	0,0489
2,73	259,9	2,029	2,8698	2,9079	0,0381
2,98	262,7	1,982	2,9114	2,9349	0,0235
3,27	265,6	1,932	2,9532	2,9608	0,0076
3,47	267,5	1,9	2,9708	2,9768	0,0059
3,72	270	1,858	2,9566	2,9964	0,0398
3,97	271,8	1,828	2,9892	3,0098	0,0206
4,51	275,5	1,765	3,0164	3,0352	0,0188
4,96	278,1	1,721	3,0378	3,0514	0,0136
5,46	280,8	1,676	3,0265	3,0669	0,0404
6,3	284,5	1,613	3,0165	3,0861	0,0696
6,75	286	1,588	3,0509	3,0933	0,0424

7,19	287,4	1,564	3,0681	3,0997	0,0316
7,69	289	1,537	3,0468	3,1066	0,0598

$V_{\text{KOH}} \text{ (mL)}$	$E \text{ (mV)}$	pH	θ_{bf}	θ_{bf}^*	error
0	142,7	4,013	0,4735	0,4828	0,0093
0,05	148,4	3,916	0,4926	0,4774	-0,0152
0,15	161,8	3,69	0,5091	0,4625	-0,0466
0,25	174	3,483	0,5042	0,4436	-0,0606
0,35	183,7	3,319	0,4899	0,4231	-0,0668
0,44	191,7	3,184	0,4589	0,402	-0,0569
0,54	198,3	3,073	0,4382	0,3811	-0,0571
0,64	203,9	2,978	0,4194	0,3609	-0,0585
0,74	209,1	2,89	0,3946	0,3404	-0,0543
0,79	213,5	2,816	0,3273	0,3223	-0,005
0,89	217,5	2,748	0,3116	0,3043	-0,0073
0,99	221,3	2,684	0,2929	0,2867	-0,0063
1,09	224,8	2,625	0,2757	0,27	-0,0057
1,34	232,6	2,493	0,2342	0,2321	-0,0021
1,49	236,5	2,427	0,2205	0,2131	-0,0074
1,59	240,1	2,366	0,1577	0,1963	0,0387
1,69	242,2	2,331	0,156	0,1864	0,0304
1,83	245,4	2,276	0,1313	0,1717	0,0404
1,98	248,3	2,227	0,1199	0,1587	0,0388
2,23	252,4	2,159	0,1216	0,1413	0,0197
2,48	256,7	2,087	0,0754	0,1242	0,0489
2,73	259,9	2,033	0,0744	0,1121	0,0377
2,98	262,7	1,985	0,0796	0,102	0,0224
3,27	265,6	1,937	0,0868	0,0922	0,0054
3,47	267,5	1,905	0,0836	0,0862	0,0025
3,72	270	1,863	0,0444	0,0787	0,0344
3,97	271,8	1,832	0,0602	0,0735	0,0133
4,51	275,5	1,77	0,0576	0,0635	0,006
4,96	278,1	1,726	0,0617	0,0571	-0,0046
5,46	280,8	1,681	0,0362	0,0509	0,0148
6,3	284,5	1,619	0,0133	0,0432	0,0299
6,75	286	1,594	0,045	0,0402	-0,0047
7,19	287,4	1,57	0,0612	0,0376	-0,0237

7,69	289	1,543	0,0408	0,0348	-0,006
------	-----	-------	--------	--------	--------

V_{КОН} (mL)	E(mV)	pH	θ_{cf}	θ_{cf}*	error
0	142,7	4,011	1,0198	1	-0,0198
0,05	148,4	3,915	1,0717	1	-0,0717
0,15	161,8	3,688	1,1422	1	-0,1422
0,25	174	3,482	1,18	1	-0,18
0,35	183,7	3,318	1,2038	1	-0,2038
0,44	191,7	3,183	1,1915	1	-0,1915
0,54	198,3	3,071	1,2038	1	-0,2038
0,64	203,9	2,976	1,22	1	-0,22
0,74	209,1	2,888	1,2226	1	-0,2226
0,79	213,5	2,814	1,0902	1	-0,0902
0,89	217,5	2,746	1,1043	1	-0,1043
0,99	221,3	2,682	1,1089	1	-0,1089
1,09	224,8	2,623	1,1148	1	-0,1148
1,34	232,6	2,491	1,1203	1	-0,1203
1,49	236,5	2,425	1,1539	1	-0,1539
1,59	240,1	2,364	0,9489	1	0,0511
1,69	242,2	2,329	0,9864	1	0,0136
1,83	245,4	2,275	0,9299	1	0,0701
1,98	248,3	2,226	0,9307	1	0,0693
2,23	252,4	2,157	1,0383	1	-0,0383
2,48	256,7	2,085	0,8198	1	0,1802
2,73	259,9	2,031	0,8805	1	0,1195
2,98	262,7	1,984	0,9921	1	0,0079
3,27	265,6	1,935	1,1414	1	-0,1414
3,47	267,5	1,903	1,1684	1	-0,1684
3,72	270	1,861	0,8029	1	0,1971
3,97	271,8	1,83	1,029	1	-0,029
4,51	275,5	1,768	1,0906	1	-0,0906
4,96	278,1	1,724	1,2243	1	-0,2243
5,46	280,8	1,679	0,8599	1	0,1401
6,3	284,5	1,617	0,422	1	0,578
6,75	286	1,592	1,0853	1	-0,0853
7,19	287,4	1,568	1,4765	1	-0,4765
7,69	289	1,541	0,9892	1	0,0108

V_{кOH} (mL)	E (mV)	E* (mV)	pH	error
0	142,7	141,3	4,036	-1,4019
0,05	148,4	150,82	3,875	2,4182
0,15	161,8	167,24	3,598	5,4366
0,25	174	178,82	3,402	4,8197
0,35	183,7	187,54	3,255	3,844
0,44	191,7	193,95	3,146	2,2525
0,54	198,3	200,03	3,044	1,7324
0,64	203,9	205,34	2,954	1,4441
0,74	209,1	210,09	2,874	0,991
0,79	213,5	212,29	2,836	-1,2055
0,89	217,5	216,42	2,767	-1,0803
0,99	221,3	220,22	2,702	-1,0758
1,09	224,8	223,76	2,643	-1,0434
1,34	232,6	231,61	2,51	-0,9948
1,49	236,5	235,75	2,44	-0,7532
1,59	240,1	238,3	2,397	-1,7969
1,69	242,2	240,71	2,357	-1,4906
1,83	245,4	243,85	2,304	-1,5538
1,98	248,3	246,93	2,252	-1,3667
2,23	252,4	251,52	2,174	-0,8751
2,48	256,7	255,53	2,107	-1,1743
2,73	259,9	259,04	2,048	-0,8639
2,98	262,7	262,14	1,995	-0,5617
3,27	265,6	265,31	1,942	-0,286
3,47	267,5	267,28	1,909	-0,2186
3,72	270	269,52	1,871	-0,476
3,97	271,8	271,56	1,837	-0,2408
4,51	275,5	275,38	1,773	-0,121
4,96	278,1	278,08	1,728	-0,0164
5,46	280,8	280,69	1,684	-0,106
6,3	284,5	284,37	1,622	-0,1334
6,75	286	286,05	1,594	0,0479
7,19	287,4	287,54	1,569	0,1375
7,69	289	289,07	1,544	0,0727

pH	b	7	8
4,011	4,029	2,34	0,091
3,915	4,078	2,33	0,089
3,688	4,168	2,274	0,083
3,482	4,25	2,183	0,075
3,318	4,328	2,079	0,067
3,183	4,409	1,972	0,059
3,071	4,484	1,864	0,052
2,977	4,554	1,759	0,045
2,889	4,625	1,653	0,04
2,814	4,699	1,565	0,035
2,747	4,756	1,472	0,03
2,683	4,811	1,381	0,027
2,623	4,861	1,295	0,023
2,492	4,966	1,101	0,016
2,426	5,01	1,003	0,013
2,365	5,058	0,92	0,011
2,329	5,074	0,869	0,01
2,275	5,099	0,795	0,008
2,227	5,112	0,73	0,007
2,158	5,117	0,641	0,005
2,085	5,119	0,556	0,004
2,031	5,099	0,495	0,003
1,984	5,07	0,444	0,003
1,935	5,031	0,395	0,002
1,903	5,001	0,365	0,002
1,861	4,964	0,33	0,001
1,831	4,919	0,304	0,001
1,769	4,821	0,255	0,001
1,725	4,735	0,224	0,001
1,68	4,641	0,195	0,001
1,618	4,484	0,159	0
1,593	4,4	0,145	0
1,569	4,321	0,133	0
1,542	4,234	0,12	0

Experimento 2

Relación 2:1

$V_{\text{KOH}} \text{ (mL)}$	$E \text{ (mV)}$	pH	θ_c	θ_{c^*}	error
0	168,9	3,563	1,1029	1,1085	0,0056
0,35	198,8	3,058	1,304	1,2834	-0,0206
0,39	201,7	3,009	1,3234	1,3066	-0,0168
0,44	204,5	2,962	1,3492	1,33	-0,0192
0,49	209,6	2,875	1,3628	1,3745	0,0117
0,54	212	2,835	1,3867	1,3963	0,0096
0,69	218,7	2,722	1,4537	1,4591	0,0055
0,79	222,7	2,654	1,4949	1,4974	0,0025
0,89	226,3	2,593	1,5342	1,5319	-0,0024
0,99	229,8	2,534	1,5693	1,5651	-0,0041
1,19	235,9	2,431	1,6338	1,6217	-0,0121
1,39	242,4	2,321	1,6669	1,6785	0,0116
1,59	246,7	2,248	1,7174	1,7138	-0,0036
1,78	250,8	2,179	1,7473	1,7452	-0,002
1,98	254,4	2,118	1,7792	1,771	-0,0082
2,18	257,5	2,066	1,8103	1,7918	-0,0185
2,38	261	2,006	1,8081	1,8135	0,0055
2,58	263,5	1,964	1,8297	1,8281	-0,0016
2,78	265,8	1,925	1,8473	1,8407	-0,0066
3,07	268,9	1,873	1,862	1,8566	-0,0055
3,57	273,4	1,797	1,8795	1,8774	-0,0021
4,07	277	1,736	1,8982	1,8923	-0,0059
4,46	279,6	1,693	1,8957	1,9018	0,0061
4,96	282,3	1,647	1,9036	1,9112	0,0076
5,46	284,6	1,609	1,9135	1,9186	0,0052

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_b	θ_b*	error
0	168,9	3,564	1,9496	1,9504	0,0008
0,35	198,8	3,058	2,3044	2,2594	-0,045
0,39	201,7	3,009	2,3386	2,3009	-0,0377
0,44	204,5	2,962	2,3842	2,3429	-0,0414
0,49	209,6	2,876	2,4082	2,4228	0,0146
0,54	212	2,835	2,4505	2,4622	0,0117
0,69	218,7	2,722	2,5686	2,5757	0,0071
0,79	222,7	2,654	2,6413	2,645	0,0036
0,89	226,3	2,594	2,7109	2,7074	-0,0034
0,99	229,8	2,534	2,7727	2,7676	-0,0051
1,19	235,9	2,431	2,8866	2,8697	-0,017
1,39	242,4	2,321	2,9453	2,9717	0,0264
1,59	246,7	2,249	3,0346	3,0346	0
1,78	250,8	2,179	3,0875	3,0904	0,0029
1,98	254,4	2,119	3,144	3,1359	-0,0081
2,18	257,5	2,066	3,199	3,1724	-0,0266
2,38	261	2,007	3,1954	3,2104	0,015
2,58	263,5	1,965	3,2338	3,2357	0,0018
2,78	265,8	1,926	3,2651	3,2576	-0,0076
3,07	268,9	1,873	3,2915	3,2849	-0,0065
3,57	273,4	1,798	3,3304	3,3202	-0,0102
4,07	277	1,738	3,3669	3,3456	-0,0213
4,46	279,6	1,694	3,3561	3,3622	0,006
4,96	282,3	1,648	3,3717	3,3781	0,0064
5,46	284,6	1,61	3,3907	3,3906	-0,0002

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_{bf}	θ_{bf}*	error
0	168,9	3,564	0,4455	0,4687	0,0232
0,35	198,8	3,059	0,4285	0,391	-0,0376
0,39	201,7	3,01	0,4124	0,3803	-0,0321
0,44	204,5	2,962	0,4068	0,3692	-0,0376
0,49	209,6	2,876	0,3335	0,3486	0,0151
0,54	212	2,835	0,3272	0,3379	0,0107
0,69	218,7	2,722	0,3043	0,3065	0,0022
0,79	222,7	2,655	0,2901	0,2869	-0,0033
0,89	226,3	2,594	0,2805	0,2688	-0,0118
0,99	229,8	2,535	0,2656	0,2511	-0,0145
1,19	235,9	2,431	0,2475	0,2203	-0,0272
1,39	242,4	2,322	0,1722	0,1888	0,0167
1,59	246,7	2,249	0,177	0,1684	-0,0086
1,78	250,8	2,18	0,1541	0,1501	-0,004
1,98	254,4	2,119	0,1481	0,1348	-0,0133
2,18	257,5	2,066	0,1523	0,1222	-0,0301
2,38	261	2,007	0,0957	0,1092	0,0135
2,58	263,5	1,965	0,0983	0,1002	0,0019
2,78	265,8	1,926	0,0984	0,0924	-0,006
3,07	268,9	1,874	0,0855	0,0825	-0,003
3,57	273,4	1,798	0,0653	0,0694	0,0041
4,07	277	1,737	0,062	0,06	-0,002
4,46	279,6	1,694	0,0344	0,0539	0,0195
4,96	282,3	1,648	0,0257	0,0479	0,0221
5,46	284,6	1,609	0,0254	0,0431	0,0177

$V_{\text{KOH}} \text{ (mL)}$	$E \text{ (mV)}$	pH	θ_{cf}	θ_{cf}^*	error
0	168,9	3,563	0,9719	1	0,0281
0,35	198,8	3,058	1,125	1	-0,125
0,39	201,7	3,009	1,1156	1	-0,1156
0,44	204,5	2,962	1,1345	1	-0,1345
0,49	209,6	2,875	0,9994	1	0,0006
0,54	212	2,835	1,0132	1	-0,0132
0,69	218,7	2,722	1,045	1	-0,045
0,79	222,7	2,654	1,0683	1	-0,0683
0,89	226,3	2,593	1,1044	1	-0,1044
0,99	229,8	2,534	1,1232	1	-0,1232
1,19	235,9	2,431	1,1954	1	-0,1954
1,39	242,4	2,321	1,0126	1	-0,0126
1,59	246,7	2,248	1,15	1	-0,15
1,78	250,8	2,179	1,1372	1	-0,1372
1,98	254,4	2,118	1,2103	1	-0,2103
2,18	257,5	2,066	1,3504	1	-0,3504
2,38	261	2,006	1,0234	1	-0,0234
2,58	263,5	1,964	1,1224	1	-0,1224
2,78	265,8	1,925	1,202	1	-0,202
3,07	268,9	1,873	1,1802	1	-0,1802
3,57	273,4	1,797	1,0983	1	-0,0983
4,07	277	1,736	1,1792	1	-0,1792
4,46	279,6	1,693	0,8246	1	0,1754
4,96	282,3	1,647	0,7257	1	0,2743
5,46	284,6	1,609	0,7566	1	0,2434

V_{KOH} (mL)	E(mV)	E*(mV)	pH	error
0	168,9	164,74	3,634	-4,1578
0,35	198,8	199,3	3,05	0,4973
0,39	201,7	201,83	3,008	0,1252
0,44	204,5	204,79	2,957	0,2933
0,49	209,6	207,58	2,91	-2,021
0,54	212	210,21	2,866	-1,792
0,69	218,7	217,34	2,745	-1,3644
0,79	222,7	221,58	2,674	-1,122
0,89	226,3	225,49	2,608	-0,8101
0,99	229,8	229,11	2,546	-0,6853
1,19	235,9	235,62	2,436	-0,2789
1,39	242,4	241,28	2,341	-1,1238
1,59	246,7	246,21	2,257	-0,4906
1,78	250,8	250,33	2,188	-0,4747
1,98	254,4	254,15	2,123	-0,2527
2,18	257,5	257,53	2,066	0,0265
2,38	261	260,53	2,015	-0,468
2,58	263,5	263,22	1,97	-0,2783
2,78	265,8	265,64	1,929	-0,1565
3,07	268,9	268,76	1,876	-0,1422
3,57	273,4	273,26	1,8	-0,1399
4,07	277	276,94	1,738	-0,0577
4,46	279,6	279,39	1,697	-0,2112
4,96	282,3	282,1	1,651	-0,1952
5,46	284,6	284,45	1,612	-0,1529

pH	b	7	8
3,563	3,888	2,148	0,079
3,058	4,146	1,775	0,051
3,009	4,182	1,724	0,048
2,962	4,216	1,671	0,044
2,875	4,294	1,577	0,039
2,835	4,326	1,525	0,036
2,722	4,418	1,375	0,029
2,654	4,473	1,281	0,025
2,593	4,521	1,194	0,021
2,534	4,566	1,11	0,018
2,431	4,635	0,964	0,013
2,321	4,706	0,817	0,009
2,248	4,727	0,72	0,007
2,179	4,743	0,635	0,006
2,118	4,743	0,563	0,004
2,066	4,731	0,504	0,004
2,006	4,721	0,445	0,003
1,964	4,695	0,403	0,002
1,925	4,666	0,367	0,002
1,873	4,618	0,322	0,002
1,797	4,526	0,263	0,001
1,736	4,426	0,221	0,001
1,693	4,347	0,194	0,001
1,647	4,245	0,167	0
1,609	4,144	0,147	0

Experimento 3

Relación 4:1

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_c	θ_c^*	error
0	155,3	3,793	1,0733	1,0711	-0,0023
0,05	159,5	3,722	1,0918	1,0835	-0,0083
0,15	168,1	3,577	1,1277	1,1139	-0,0138
0,25	175,4	3,453	1,163	1,1461	-0,0169
0,35	181,7	3,347	1,1976	1,1793	-0,0184
0,49	189,5	3,215	1,2449	1,2279	-0,017
0,64	198,3	3,066	1,2913	1,2925	0,0012
0,79	203,9	2,972	1,3395	1,3387	-0,0008
0,99	210,8	2,855	1,4007	1,3998	-0,0009
1,19	216,9	2,752	1,4589	1,4566	-0,0023
1,39	223,7	2,638	1,508	1,5204	0,0124
1,59	228,6	2,555	1,559	1,5665	0,0075
1,78	233,2	2,478	1,6019	1,6087	0,0069
1,98	237,5	2,405	1,6444	1,6469	0,0025
2,23	243,3	2,308	1,6825	1,6954	0,0129
2,48	247,7	2,234	1,7232	1,7298	0,0066
2,73	251,8	2,165	1,7568	1,7596	0,0028
3,02	256	2,095	1,7908	1,7878	-0,003
3,22	259,2	2,041	1,7987	1,8076	0,0089
3,52	262,7	1,983	1,8245	1,8278	0,0033
3,97	267,3	1,906	1,8546	1,8518	-0,0028
4,46	271,9	1,829	1,8656	1,873	0,0074
4,96	275,4	1,771	1,8896	1,8875	-0,002
5,46	278,4	1,721	1,91	1,8989	-0,0112
6,2	282,5	1,653	1,9133	1,9127	-0,0006
6,94	285,7	1,601	1,9242	1,9224	-0,0018

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_b	θ_b*	error
0	155,3	3,793	3,7216	3,6867	-0,0349
0,05	159,5	3,722	3,7853	3,7277	-0,0576
0,15	168,1	3,576	3,9094	3,8288	-0,0806
0,25	175,4	3,453	4,0312	3,9365	-0,0947
0,35	181,7	3,346	4,1509	4,0483	-0,1026
0,49	189,5	3,214	4,3141	4,2132	-0,1009
0,64	198,3	3,066	4,4742	4,4349	-0,0393
0,79	203,9	2,971	4,6406	4,5951	-0,0456
0,99	210,8	2,854	4,8519	4,8091	-0,0428
1,19	216,9	2,751	5,053	5,0095	-0,0435
1,39	223,7	2,636	5,2214	5,2382	0,0169
1,59	228,6	2,554	5,3968	5,4032	0,0065
1,78	233,2	2,476	5,544	5,5547	0,0107
1,98	237,5	2,404	5,6914	5,6899	-0,0015
2,23	243,3	2,306	5,8218	5,8633	0,0415
2,48	247,7	2,232	5,961	5,9857	0,0247
2,73	251,8	2,163	6,0753	6,0914	0,0161
3,02	256	2,092	6,1903	6,1909	0,0006
3,22	259,2	2,038	6,215	6,2603	0,0453
3,52	262,7	1,98	6,3006	6,3306	0,03
3,97	267,3	1,902	6,3979	6,4137	0,0158
4,46	271,9	1,825	6,4265	6,4867	0,0602
4,96	275,4	1,766	6,4989	6,5361	0,0372
5,46	278,4	1,716	6,5577	6,5745	0,0168
6,2	282,5	1,648	6,5473	6,6212	0,074
6,94	285,7	1,594	6,5611	6,6537	0,0926

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_{bf}	θ_{bf}*	error
0	155,3	3,794	0,7503	0,7662	0,0159
0,05	159,5	3,723	0,7664	0,7586	-0,0078
0,15	168,1	3,577	0,7732	0,7403	-0,0329
0,25	175,4	3,454	0,7699	0,7207	-0,0492
0,35	181,7	3,347	0,7596	0,7	-0,0596
0,49	189,5	3,216	0,731	0,6692	-0,0618
0,64	198,3	3,067	0,6339	0,6275	-0,0063
0,79	203,9	2,972	0,6129	0,5955	-0,0174
0,99	210,8	2,855	0,5729	0,5514	-0,0215
1,19	216,9	2,752	0,5373	0,5086	-0,0287
1,39	223,7	2,638	0,4375	0,4591	0,0216
1,59	228,6	2,556	0,4152	0,4208	0,0057
1,78	233,2	2,478	0,3796	0,3847	0,0051
1,98	237,5	2,406	0,3584	0,3508	-0,0076
2,23	243,3	2,308	0,2745	0,3068	0,0322
2,48	247,7	2,234	0,2601	0,274	0,0139
2,73	251,8	2,165	0,2406	0,2448	0,0042
3,02	256	2,095	0,2285	0,2165	-0,012
3,22	259,2	2,041	0,1646	0,1965	0,0319
3,52	262,7	1,983	0,16	0,1755	0,0155
3,97	267,3	1,906	0,1513	0,1499	-0,0014
4,46	271,9	1,829	0,0896	0,1272	0,0376
4,96	275,4	1,771	0,1032	0,1111	0,0079
5,46	278,4	1,721	0,1196	0,0984	-0,0211
6,2	282,5	1,654	0,0642	0,083	0,0188
6,94	285,7	1,601	0,0546	0,072	0,0174

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_{cf}	θ_{cf}*	error
0	155,3	3,793	0,9999	1	0,0001
0,05	159,5	3,722	1,0318	1	-0,0318
0,15	168,1	3,576	1,0666	1	-0,0666
0,25	175,4	3,453	1,0908	1	-0,0908
0,35	181,7	3,347	1,1079	1	-0,1079
0,49	189,5	3,215	1,1157	1	-0,1157
0,64	198,3	3,066	1,0342	1	-0,0342
0,79	203,9	2,971	1,056	1	-0,056
0,99	210,8	2,855	1,0704	1	-0,0704
1,19	216,9	2,751	1,0935	1	-0,0935
1,39	223,7	2,637	1,0003	1	-0,0003
1,59	228,6	2,555	1,0414	1	-0,0414
1,78	233,2	2,477	1,0503	1	-0,0503
1,98	237,5	2,405	1,093	1	-0,093
2,23	243,3	2,307	0,986	1	0,014
2,48	247,7	2,233	1,049	1	-0,049
2,73	251,8	2,164	1,0907	1	-0,0907
3,02	256	2,094	1,1688	1	-0,1688
3,22	259,2	2,04	0,975	1	0,025
3,52	262,7	1,982	1,0509	1	-0,0509
3,97	267,3	1,905	1,1467	1	-0,1467
4,46	271,9	1,828	0,8711	1	0,1289
4,96	275,4	1,77	1,0668	1	-0,0668
5,46	278,4	1,72	1,3077	1	-0,3077
6,2	282,5	1,652	0,8722	1	0,1278
6,94	285,7	1,599	0,7983	1	0,2017

V_{KOH} (mL)	E(mV)	E*(mV)	pH	error
0	155,3	152,99	3,833	-2,3097
0,05	159,5	159,34	3,725	-0,156
0,15	168,1	169,31	3,557	1,2073
0,25	175,4	177	3,427	1,5964
0,35	181,7	183,32	3,32	1,6156
0,49	189,5	190,71	3,196	1,2123
0,64	198,3	197,42	3,082	-0,8799
0,79	203,9	203,29	2,983	-0,6069
0,99	210,8	210,24	2,866	-0,5616
1,19	216,9	216,47	2,761	-0,4315
1,39	223,7	222,17	2,665	-1,5287
1,59	228,6	227,45	2,576	-1,1473
1,78	233,2	232,13	2,497	-1,067
1,98	237,5	236,73	2,42	-0,7658
2,23	243,3	242,04	2,331	-1,2615
2,48	247,7	246,86	2,25	-0,8373
2,73	251,8	251,23	2,177	-0,5725
3,02	256	255,75	2,102	-0,2464
3,22	259,2	258,57	2,055	-0,6324
3,52	262,7	262,37	1,992	-0,3302
3,97	267,3	267,27	1,911	-0,0315
4,46	271,9	271,72	1,838	-0,1791
4,96	275,4	275,53	1,775	0,1333
5,46	278,4	278,78	1,722	0,3756
6,2	282,5	282,78	1,657	0,2831
6,94	285,7	286,08	1,603	0,3845

pH	b	7	8
3,793	2,6	3,011	0,233
3,722	2,621	2,982	0,227
3,577	2,673	2,911	0,212
3,453	2,726	2,833	0,197
3,347	2,782	2,75	0,182
3,215	2,867	2,627	0,161
3,066	2,99	2,467	0,136
2,972	3,076	2,336	0,119
2,855	3,195	2,157	0,097
2,752	3,308	1,983	0,08
2,638	3,447	1,785	0,062
2,555	3,542	1,627	0,05
2,478	3,63	1,48	0,04
2,405	3,707	1,34	0,032
2,308	3,808	1,162	0,024
2,234	3,866	1,027	0,018
2,165	3,909	0,907	0,014
2,095	3,939	0,791	0,011
2,041	3,96	0,712	0,009
1,983	3,961	0,626	0,007
1,906	3,942	0,522	0,005
1,829	3,905	0,432	0,003
1,771	3,846	0,367	0,002
1,721	3,78	0,317	0,002
1,653	3,679	0,258	0,001
1,601	3,572	0,215	0,001

Experimento 4

Relación 4:1

$V_{\text{KOH}} \text{ (mL)}$	$E \text{ (mV)}$	pH	θ_c	θ_{c^*}	error
0	148,7	3,907	1,0652	1,0565	-0,0087
0,05	152,4	3,844	1,0816	1,0655	-0,0161
0,1	157,2	3,763	1,0975	1,0786	-0,0188
0,44	181,6	3,35	1,2021	1,182	-0,0201
0,54	188,9	3,227	1,2298	1,2276	-0,0022
0,69	194,6	3,131	1,2745	1,2683	-0,0062
0,84	200,1	3,038	1,3176	1,3116	-0,006
1,04	207,1	2,919	1,3725	1,3716	-0,001
1,24	213,1	2,819	1,4258	1,4258	0
1,59	222,4	2,662	1,5126	1,5134	0,0008
1,93	231,5	2,509	1,5816	1,5981	0,0165
2,28	239	2,383	1,6456	1,664	0,0185
2,68	246,1	2,263	1,7097	1,7213	0,0117
3,12	253,7	2,136	1,7537	1,7756	0,0218
3,62	260	2,031	1,803	1,8148	0,0119
4,12	265,6	1,937	1,8325	1,8452	0,0127
4,66	270,5	1,856	1,8577	1,8684	0,0107
5,26	274,9	1,783	1,8817	1,8868	0,0051
5,95	278,9	1,717	1,9106	1,9016	-0,009
6,65	282,4	1,66	1,9287	1,9131	-0,0156
7,34	285,3	1,612	1,9441	1,9218	-0,0223

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_b	θ_b*	error
0	148,7	3,906	4,5173	4,4702	-0,0471
0,05	152,4	3,843	4,5867	4,5066	-0,08
0,1	157,2	3,762	4,6541	4,56	-0,0941
0,44	181,6	3,349	5,0981	4,9837	-0,1144
0,54	188,9	3,226	5,2156	5,1731	-0,0425
0,69	194,6	3,13	5,405	5,344	-0,061
0,84	200,1	3,037	5,5881	5,5269	-0,0612
1,04	207,1	2,918	5,8208	5,7825	-0,0383
1,24	213,1	2,818	6,0466	6,0159	-0,0308
1,59	222,4	2,661	6,4147	6,3966	-0,0181
1,93	231,5	2,508	6,707	6,7677	0,0607
2,28	239	2,382	6,9779	7,0577	0,0799
2,68	246,1	2,262	7,2491	7,309	0,0599
3,12	253,7	2,135	7,4352	7,5455	0,1104
3,62	260	2,03	7,6428	7,715	0,0723
4,12	265,6	1,936	7,7666	7,8449	0,0783
4,66	270,5	1,855	7,872	7,9434	0,0714
5,26	274,9	1,782	7,972	8,0207	0,0487
5,95	278,9	1,716	8,0923	8,0826	-0,0097
6,65	282,4	1,659	8,1671	8,1307	-0,0364
7,34	285,3	1,611	8,2299	8,1665	-0,0634

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_{bf}	θ_{bf}*	error
0	148,7	3,909	0,8666	0,8514	-0,0153
0,05	152,4	3,846	0,8945	0,8453	-0,0492
0,1	157,2	3,765	0,9014	0,8371	-0,0643
0,44	181,6	3,353	0,8628	0,7711	-0,0917
0,54	188,9	3,229	0,7654	0,7417	-0,0237
0,69	194,6	3,133	0,7591	0,7128	-0,0463
0,84	200,1	3,04	0,7327	0,6815	-0,0512
1,04	207,1	2,922	0,6723	0,6366	-0,0357
1,24	213,1	2,82	0,6259	0,5934	-0,0326
1,59	222,4	2,663	0,5497	0,5194	-0,0302
1,93	231,5	2,51	0,4078	0,4436	0,0358
2,28	239	2,384	0,33	0,3792	0,0492
2,68	246,1	2,264	0,2925	0,3195	0,0269
3,12	253,7	2,137	0,1816	0,2604	0,0788
3,62	260	2,031	0,1699	0,2151	0,0452
4,12	265,6	1,937	0,1213	0,1791	0,0577
4,66	270,5	1,855	0,0916	0,1507	0,059
5,26	274,9	1,782	0,0812	0,1277	0,0465
5,95	278,9	1,715	0,1082	0,1087	0,0005
6,65	282,4	1,657	0,1055	0,0938	-0,0118
7,34	285,3	1,609	0,1054	0,0825	-0,023

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_{cf}	θ_{cf}^*	error
0	148,7	3,906	1,0546	1	-0,0546
0,05	152,4	3,844	1,0963	1	-0,0963
0,1	157,2	3,762	1,1152	1	-0,1152
0,44	181,6	3,35	1,1553	1	-0,1553
0,54	188,9	3,227	1,0649	1	-0,0649
0,69	194,6	3,13	1,0991	1	-0,0991
0,84	200,1	3,037	1,1105	1	-0,1105
1,04	207,1	2,919	1,0938	1	-0,0938
1,24	213,1	2,817	1,0968	1	-0,0968
1,59	222,4	2,66	1,1103	1	-0,1103
1,93	231,5	2,508	0,9892	1	0,0108
2,28	239	2,381	0,9596	1	0,0404
2,68	246,1	2,262	1,0223	1	-0,0223
3,12	253,7	2,134	0,8377	1	0,1623
3,62	260	2,028	0,9403	1	0,0597
4,12	265,6	1,934	0,8457	1	0,1543
4,66	270,5	1,853	0,7819	1	0,2181
5,26	274,9	1,779	0,7946	1	0,2054
5,95	278,9	1,713	1,0889	1	-0,0889
6,65	282,4	1,655	1,1565	1	-0,1565
7,34	285,3	1,607	1,2281	1	-0,2281

V_{KOH} (mL)	E(mV)	E*(mV)	pH	error
0	148,7	149,68	3,892	0,9769
0,05	152,4	155,87	3,788	3,4673
0,1	157,2	161,09	3,699	3,8882
0,44	181,6	184,04	3,312	2,4433
0,54	188,9	188,75	3,232	-0,1532
0,69	194,6	194,95	3,127	0,3452
0,84	200,1	200,41	3,035	0,3132
1,04	207,1	206,92	2,925	-0,1835
1,24	213,1	212,78	2,826	-0,319
1,59	222,4	221,99	2,671	-0,4134
1,93	231,5	229,99	2,536	-1,5054
2,28	239	237,46	2,411	-1,5438
2,68	246,1	245,07	2,283	-1,0308
3,12	253,7	252,33	2,162	-1,3667
3,62	260	259,26	2,046	-0,7356
4,12	265,6	264,98	1,951	-0,6152
4,66	270,5	270,08	1,866	-0,4244
5,26	274,9	274,72	1,789	-0,1829
5,95	278,9	279,07	1,718	0,1739
6,65	282,4	282,7	1,658	0,3042
7,34	285,3	285,7	1,609	0,4037

pH	b	7	8
3,907	2,169	3,017	0,281
3,844	2,184	2,996	0,275
3,763	2,206	2,969	0,268
3,35	2,369	2,738	0,212
3,227	2,449	2,641	0,191
3,131	2,517	2,534	0,171
3,038	2,593	2,42	0,151
2,919	2,705	2,258	0,126
2,819	2,809	2,101	0,105
2,662	2,987	1,831	0,075
2,509	3,173	1,555	0,051
2,383	3,314	1,317	0,035
2,263	3,427	1,095	0,023
2,136	3,525	0,878	0,015
2,031	3,563	0,709	0,009
1,937	3,571	0,577	0,006
1,856	3,547	0,473	0,004
1,783	3,497	0,389	0,003
1,717	3,422	0,32	0,002
1,66	3,34	0,267	0,001
1,612	3,255	0,228	0,001

Experimento 5

Relación 10:1

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_c	θ_c^*	error
0	142,8	4,001	1,0398	1,05	0,0102
0,05	145,9	3,948	1,0474	1,0562	0,0088
0,15	151,1	3,86	1,0627	1,0682	0,0055
0,25	156,4	3,771	1,0779	1,0827	0,0048
0,44	164,3	3,637	1,1067	1,1093	0,0026
0,64	171	3,524	1,1369	1,1372	0,0004
0,84	176,7	3,428	1,1669	1,1655	-0,0014
1,09	184,3	3,299	1,2035	1,2099	0,0064
1,34	189,5	3,211	1,2405	1,245	0,0045
1,59	194,7	3,123	1,2767	1,2837	0,007
1,88	199,9	3,035	1,3185	1,3258	0,0073
2,18	204,6	2,956	1,3613	1,3664	0,0051
2,53	210,4	2,858	1,4094	1,4189	0,0095
2,88	215,5	2,772	1,4567	1,4667	0,01
3,27	220,6	2,686	1,5082	1,5149	0,0068
3,47	223,4	2,638	1,5332	1,5413	0,0081
3,97	229,3	2,538	1,5952	1,596	0,0008
4,46	235,6	2,432	1,649	1,6517	0,0027
4,96	241,2	2,337	1,7005	1,6982	-0,0024
5,46	246,5	2,248	1,7463	1,7388	-0,0076
6	252,3	2,15	1,7853	1,779	-0,0063
6,45	256,4	2,08	1,8151	1,8048	-0,0102
6,94	260,8	2,006	1,8388	1,83	-0,0088
7,44	264,6	1,942	1,8609	1,8497	-0,0112
7,94	268,4	1,877	1,8726	1,8676	-0,005
8,43	271	1,834	1,8935	1,8789	-0,0147
8,93	273,8	1,786	1,9043	1,8901	-0,0143
9,43	276,2	1,746	1,9155	1,899	-0,0165

V_{КОН} (mL)	E(mV)	pH	θ_b	θ_b*	error
0	142,8	4,003	9,0555	9,1843	0,1288
0,05	145,9	3,951	9,1227	9,2359	0,1132
0,15	151,1	3,863	9,2569	9,3352	0,0782
0,25	156,4	3,773	9,39	9,4552	0,0652
0,44	164,3	3,64	9,6425	9,6763	0,0338
0,64	171	3,526	9,9071	9,91	0,0029
0,84	176,7	3,43	10,1703	10,1468	-0,0235
1,09	184,3	3,301	10,4921	10,5214	0,0293
1,34	189,5	3,214	10,816	10,8188	0,0028
1,59	194,7	3,126	11,1342	11,1488	0,0146
1,88	199,9	3,038	11,5005	11,5102	0,0097
2,18	204,6	2,958	11,8758	11,8611	-0,0148
2,53	210,4	2,86	12,2985	12,3193	0,0207
2,88	215,5	2,774	12,7134	12,7396	0,0262
3,27	220,6	2,688	13,1654	13,169	0,0036
3,47	223,4	2,64	13,3853	13,4052	0,0199
3,97	229,3	2,541	13,9294	13,8991	-0,0303
4,46	235,6	2,434	14,4029	14,4066	0,0037
4,96	241,2	2,34	14,8558	14,8323	-0,0235
5,46	246,5	2,25	15,2588	15,2057	-0,0531
6	252,3	2,152	15,6032	15,5758	-0,0274
6,45	256,4	2,083	15,8656	15,8125	-0,0531
6,94	260,8	2,009	16,0818	16,0397	-0,0421
7,44	264,6	1,945	16,2807	16,2187	-0,062
7,94	268,4	1,881	16,3887	16,3798	-0,0089
8,43	271	1,837	16,5778	16,4813	-0,0966
8,93	273,8	1,79	16,6793	16,5815	-0,0977
9,43	276,2	1,75	16,7843	16,6611	-0,1232

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_{bf}	θ_{bf}*	error
0	142,8	3,986	1,1766	1,2451	0,0684
0,05	145,9	3,934	1,1852	1,2403	0,0551
0,15	151,1	3,846	1,2063	1,2308	0,0245
0,25	156,4	3,756	1,2031	1,22	0,0168
0,44	164,3	3,623	1,2045	1,1994	-0,0051
0,64	171	3,51	1,2039	1,1772	-0,0267
0,84	176,7	3,413	1,1988	1,1543	-0,0444
1,09	184,3	3,285	1,0987	1,119	0,0203
1,34	189,5	3,197	1,0868	1,0884	0,0016
1,59	194,7	3,109	1,0338	1,0542	0,0204
1,88	199,9	3,021	0,9938	1,0148	0,021
2,18	204,6	2,942	0,9748	0,9746	-0,0003
2,53	210,4	2,844	0,8844	0,921	0,0366
2,88	215,5	2,757	0,8283	0,8686	0,0404
3,27	220,6	2,671	0,7983	0,8118	0,0134
3,47	223,4	2,624	0,7533	0,7797	0,0265
3,97	229,3	2,524	0,7403	0,7081	-0,0322
4,46	235,6	2,418	0,6384	0,6308	-0,0076
4,96	241,2	2,323	0,6021	0,5606	-0,0415
5,46	246,5	2,233	0,569	0,4953	-0,0737
6	252,3	2,135	0,4723	0,4271	-0,0452
6,45	256,4	2,066	0,4446	0,3806	-0,064
6,94	260,8	1,992	0,3661	0,3339	-0,0322
7,44	264,6	1,927	0,3293	0,2956	-0,0336
7,94	268,4	1,864	0,2271	0,2609	0,0338
8,43	271	1,82	0,2716	0,2373	-0,0343
8,93	273,8	1,773	0,2252	0,214	-0,0112
9,43	276,2	1,732	0,207	0,195	-0,012

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_{cf}	θ_{cf}^*	error
0	142,8	3,987	0,916	1	0,084
0,05	145,9	3,935	0,9269	1	0,0731
0,15	151,1	3,847	0,9524	1	0,0476
0,25	156,4	3,757	0,9578	1	0,0422
0,44	164,3	3,624	0,975	1	0,025
0,64	171	3,511	0,9926	1	0,0074
0,84	176,7	3,414	1,0074	1	-0,0074
1,09	184,3	3,286	0,943	1	0,057
1,34	189,5	3,198	0,9586	1	0,0414
1,59	194,7	3,11	0,9372	1	0,0628
1,88	199,9	3,022	0,9337	1	0,0663
2,18	204,6	2,943	0,9545	1	0,0455
2,53	210,4	2,845	0,9111	1	0,0889
2,88	215,5	2,758	0,9042	1	0,0958
3,27	220,6	2,672	0,9368	1	0,0632
3,47	223,4	2,625	0,92	1	0,08
3,97	229,3	2,525	1,0054	1	-0,0054
4,46	235,6	2,419	0,9768	1	0,0232
4,96	241,2	2,324	1,0452	1	-0,0452
5,46	246,5	2,234	1,1253	1	-0,1253
6	252,3	2,136	1,0904	1	-0,0904
6,45	256,4	2,067	1,1557	1	-0,1557
6,94	260,8	1,993	1,0932	1	-0,0932
7,44	264,6	1,928	1,1153	1	-0,1153
7,94	268,4	1,864	0,8596	1	0,1404
8,43	271	1,82	1,1088	1	-0,1088
8,93	273,8	1,773	1,013	1	-0,0131
9,43	276,2	1,732	1,0083	1	-0,0083

V_{KOH} (mL)	E(mV)	E*(mV)	pH	error
0	142,8	138,39	4,061	-4,4097
0,05	145,9	142,66	3,989	-3,2434
0,15	151,1	149,73	3,869	-1,3683
0,25	156,4	155,47	3,772	-0,9303
0,44	164,3	164,12	3,626	-0,184
0,64	171	171,28	3,505	0,2754
0,84	176,7	177,22	3,404	0,5199
1,09	184,3	183,55	3,298	-0,7548
1,34	189,5	189,04	3,205	-0,4603
1,59	194,7	193,96	3,122	-0,7449
1,88	199,9	199,14	3,034	-0,7638
2,18	204,6	204,07	2,951	-0,5334
2,53	210,4	209,42	2,86	-0,9812
2,88	215,5	214,46	2,775	-1,043
3,27	220,6	219,8	2,685	-0,7987
3,47	223,4	222,46	2,64	-0,9443
3,97	229,3	228,89	2,531	-0,4134
4,46	235,6	234,94	2,429	-0,6626
4,96	241,2	240,85	2,329	-0,3516
5,46	246,5	246,44	2,235	-0,0561
6	252,3	252,05	2,14	-0,2452
6,45	256,4	256,34	2,067	-0,062
6,94	260,8	260,57	1,996	-0,2273
7,44	264,6	264,44	1,931	-0,1606
7,94	268,4	267,88	1,873	-0,5216
8,43	271	270,88	1,822	-0,1239
8,93	273,8	273,6	1,776	-0,1984
9,43	276,2	276,04	1,735	-0,1646

pH	b	7	8
4,001	1,169	3,764	0,811
3,948	1,177	3,75	0,799
3,86	1,193	3,719	0,776
3,771	1,211	3,686	0,751
3,637	1,245	3,62	0,704
3,524	1,282	3,549	0,658
3,428	1,32	3,476	0,613
3,299	1,383	3,376	0,551
3,211	1,436	3,279	0,501
3,123	1,497	3,177	0,451
3,035	1,567	3,057	0,399
2,956	1,638	2,933	0,351
2,858	1,739	2,774	0,296
2,772	1,836	2,615	0,249
2,686	1,941	2,44	0,205
2,638	2,002	2,343	0,184
2,538	2,133	2,119	0,141
2,432	2,28	1,883	0,104
2,337	2,406	1,663	0,077
2,248	2,518	1,457	0,056
2,15	2,632	1,244	0,039
2,08	2,697	1,097	0,03
2,006	2,756	0,95	0,022
1,942	2,791	0,828	0,016
1,877	2,817	0,718	0,012
1,834	2,814	0,641	0,01
1,786	2,809	0,568	0,008
1,746	2,794	0,508	0,006

Experimento 6

Relación 10:1

$V_{\text{KOH}} \text{ (mL)}$	$E \text{ (mV)}$	pH	θ_c	θ_{c^*}	error
0	135,3	4,1	1,0383	1,0399	0,0016
0,1	140,9	4,006	1,0526	1,0497	-0,0029
0,2	146,3	3,914	1,0667	1,0609	-0,0058
0,3	151,3	3,83	1,0808	1,0732	-0,0077
0,39	155,7	3,755	1,0934	1,0857	-0,0077
0,54	161,7	3,654	1,1144	1,1059	-0,0085
0,69	168,5	3,539	1,135	1,1336	-0,0014
0,84	171,5	3,488	1,1561	1,1476	-0,0085
0,99	176,9	3,397	1,1765	1,1758	-0,0007
1,19	181,7	3,317	1,2039	1,2038	-0,0001
1,39	186,8	3,231	1,2309	1,2374	0,0065
1,59	190,5	3,169	1,2581	1,2639	0,0059
1,83	195	3,093	1,2902	1,2986	0,0085
2,08	199,1	3,024	1,3234	1,3323	0,0089
2,33	202,9	2,96	1,3564	1,365	0,0087
2,63	207,2	2,888	1,3954	1,4035	0,0082
3,07	214	2,773	1,45	1,4664	0,0164
3,42	218,3	2,701	1,4933	1,5067	0,0134
3,82	223,2	2,619	1,5408	1,5523	0,0116
4,22	228,3	2,534	1,5852	1,5987	0,0135
4,61	232,7	2,461	1,6273	1,6373	0,01
5,01	237	2,39	1,6681	1,6733	0,0052
5,41	241,6	2,314	1,7039	1,7095	0,0056
5,8	245,6	2,248	1,7371	1,739	0,0018
6,2	249,9	2,177	1,7654	1,7683	0,0029
6,6	253,6	2,117	1,7927	1,7916	-0,0011
6,99	257	2,062	1,8163	1,8114	-0,0048
7,39	260,6	2,003	1,8334	1,8311	-0,0023
7,79	263,6	1,955	1,8519	1,846	-0,0059
8,28	266,9	1,902	1,8726	1,8611	-0,0114
8,83	270,5	1,845	1,8886	1,8762	-0,0125
9,43	273,7	1,794	1,9081	1,8883	-0,0198
9,92	276,2	1,755	1,9193	1,8971	-0,0222

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θb	θb*	error
0	135,3	4,096	9,5975	9,6218	0,0243
0,1	140,9	4,001	9,7293	9,7074	-0,0219
0,2	146,3	3,91	9,8604	9,8065	-0,0539
0,3	151,3	3,825	9,991	9,9155	-0,0755
0,39	155,7	3,751	10,1077	10,0272	-0,0805
0,54	161,7	3,649	10,3021	10,2068	-0,0952
0,69	168,5	3,535	10,4925	10,4537	-0,0388
0,84	171,5	3,484	10,6883	10,5793	-0,109
0,99	176,9	3,393	10,8766	10,8317	-0,0449
1,19	181,7	3,312	11,131	11,0838	-0,0472
1,39	186,8	3,226	11,3803	11,3861	0,0058
1,59	190,5	3,164	11,6319	11,6266	-0,0054
1,83	195	3,088	11,9293	11,9415	0,0122
2,08	199,1	3,019	12,2372	12,2487	0,0115
2,33	202,9	2,955	12,542	12,549	0,0069
2,63	207,2	2,883	12,9027	12,9039	0,0012
3,07	214	2,769	13,408	13,4877	0,0796
3,42	218,3	2,697	13,808	13,866	0,058
3,82	223,2	2,615	14,2471	14,2974	0,0503
4,22	228,3	2,53	14,6575	14,7388	0,0813
4,61	232,7	2,456	15,0454	15,1088	0,0634
5,01	237	2,385	15,4215	15,4555	0,034
5,41	241,6	2,309	15,7515	15,8052	0,0538
5,8	245,6	2,243	16,0565	16,0902	0,0336
6,2	249,9	2,173	16,3151	16,3735	0,0584
6,6	253,6	2,112	16,5643	16,5986	0,0343
6,99	257	2,057	16,779	16,7893	0,0103
7,39	260,6	1,998	16,9333	16,9772	0,0439
7,79	263,6	1,95	17,0999	17,1194	0,0195
8,28	266,9	1,897	17,2854	17,263	-0,0224
8,83	270,5	1,84	17,4265	17,4046	-0,0219
9,43	273,7	1,789	17,5988	17,5188	-0,08
9,92	276,2	1,75	17,6951	17,6003	-0,0948

V_{KOH} (mL)	E(mV)	pH	θ_{bf}	θ_{bf}*	error
0	135,3	4,1	1,2568	1,2912	0,0344
0,1	140,9	4,005	1,2952	1,2834	-0,0118
0,2	146,3	3,914	1,3184	1,2747	-0,0437
0,3	151,3	3,829	1,3304	1,2654	-0,0649
0,39	155,7	3,755	1,3258	1,2562	-0,0696
0,54	161,7	3,653	1,3247	1,2409	-0,0838
0,69	168,5	3,538	1,248	1,2213	-0,0267
0,84	171,5	3,488	1,3055	1,2088	-0,0967
0,99	176,9	3,396	1,2202	1,188	-0,0322
1,19	181,7	3,315	1,1958	1,1648	-0,031
1,39	186,8	3,229	1,1145	1,1375	0,023
1,59	190,5	3,167	1,1054	1,1142	0,0087
1,83	195	3,091	1,0575	1,0831	0,0256
2,08	199,1	3,022	1,0276	1,0512	0,0236
2,33	202,9	2,958	1,0016	1,0188	0,0172
2,63	207,2	2,886	0,9705	0,979	0,0085
3,07	214	2,771	0,8311	0,9114	0,0803
3,42	218,3	2,699	0,8104	0,8634	0,053
3,82	223,2	2,617	0,7681	0,806	0,0378
4,22	228,3	2,531	0,6837	0,7443	0,0606
4,61	232,7	2,458	0,6534	0,6888	0,0354
5,01	237	2,386	0,6339	0,6337	-0,0002
5,41	241,6	2,309	0,5611	0,5759	0,0148
5,8	245,6	2,242	0,533	0,5257	-0,0074
6,2	249,9	2,171	0,4555	0,4738	0,0183
6,6	253,6	2,11	0,4319	0,43	-0,0019
6,99	257	2,054	0,4104	0,3914	-0,019
7,39	260,6	1,995	0,3366	0,353	0,0164
7,79	263,6	1,946	0,3199	0,322	0,0021
8,28	266,9	1,892	0,3148	0,2897	-0,0251
8,83	270,5	1,833	0,2607	0,2571	-0,0036
9,43	273,7	1,781	0,2527	0,2292	-0,0235
9,92	276,2	1,741	0,2202	0,2093	-0,0109

$V_{\text{KOH}} \text{ (mL)}$	$E \text{ (mV)}$	pH	θ_{cf}	θ_{cf}^*	error
0	135,3	4,098	0,9771	1	0,0229
0,1	140,9	4,003	1,0148	1	-0,0148
0,2	146,3	3,912	1,0406	1	-0,0406
0,3	151,3	3,827	1,0576	1	-0,0576
0,39	155,7	3,753	1,0605	1	-0,0605
0,54	161,7	3,651	1,0712	1	-0,0712
0,69	168,5	3,536	1,0185	1	-0,0185
0,84	171,5	3,486	1,0799	1	-0,0799
0,99	176,9	3,394	1,0196	1	-0,0196
1,19	181,7	3,313	1,0161	1	-0,0161
1,39	186,8	3,227	0,9624	1	0,0376
1,59	190,5	3,165	0,9735	1	0,0265
1,83	195	3,089	0,9538	1	0,0462
2,08	199,1	3,02	0,9529	1	0,0471
2,33	202,9	2,956	0,9572	1	0,0428
2,63	207,2	2,884	0,9646	1	0,0354
3,07	214	2,769	0,8798	1	0,1202
3,42	218,3	2,697	0,9092	1	0,0908
3,82	223,2	2,615	0,9269	1	0,0731
4,22	228,3	2,529	0,8957	1	0,1043
4,61	232,7	2,455	0,9317	1	0,0683
5,01	237	2,384	0,9902	1	0,0098
5,41	241,6	2,307	0,9709	1	0,0291
5,8	245,6	2,24	1,0169	1	-0,0169
6,2	249,9	2,169	0,9718	1	0,0282
6,6	253,6	2,108	1,0195	1	-0,0195
6,99	257	2,052	1,0661	1	-0,0661
7,39	260,6	1,992	0,9776	1	0,0224
7,79	263,6	1,943	1,0167	1	-0,0167
8,28	266,9	1,89	1,1029	1	-0,1029
8,83	270,5	1,831	1,0284	1	-0,0284
9,43	273,7	1,779	1,1	1	-0,1
9,92	276,2	1,738	1,0403	1	-0,0403

V_{KOH} (mL)	E(mV)	E*(mV)	pH	error
0	135,3	132,8	4,142	-2,4974
0,1	140,9	141,4	3,997	0,5014
0,2	146,3	148,1	3,884	1,7987
0,3	151,3	153,58	3,791	2,2813
0,39	155,7	157,8	3,72	2,1002
0,54	161,7	163,78	3,619	2,0844
0,69	168,5	168,85	3,533	0,3494
0,84	171,5	173,27	3,459	1,7689
0,99	176,9	177,21	3,392	0,3119
1,19	181,7	181,92	3,313	0,2157
1,39	186,8	186,14	3,242	-0,657
1,59	190,5	190,01	3,176	-0,4906
1,83	195	194,28	3,104	-0,7161
2,08	199,1	198,41	3,035	-0,6899
2,33	202,9	202,28	2,97	-0,6205
2,63	207,2	206,66	2,896	-0,538
3,07	214	212,71	2,795	-1,2909
3,42	218,3	217,28	2,718	-1,0154
3,82	223,2	222,33	2,634	-0,87
4,22	228,3	227,23	2,553	-1,0742
4,61	232,7	231,88	2,475	-0,82
5,01	237	236,54	2,398	-0,4625
5,41	241,6	241,07	2,323	-0,5336
5,8	245,6	245,34	2,253	-0,2649
6,2	249,9	249,53	2,185	-0,3685
6,6	253,6	253,51	2,12	-0,0877
6,99	257	257,16	2,061	0,1619
7,39	260,6	260,65	2,005	0,0536
7,79	263,6	263,89	1,953	0,2875
8,28	266,9	267,51	1,896	0,6088
8,83	270,5	271,16	1,838	0,6585
9,43	273,7	274,69	1,783	0,9938
9,92	276,2	277,28	1,744	1,0792

pH	b	7	8
4,1	1,095	3,906	0,933
4,006	1,108	3,881	0,91
3,914	1,122	3,852	0,885
3,83	1,138	3,822	0,859
3,755	1,153	3,793	0,835
3,654	1,179	3,743	0,796
3,539	1,215	3,69	0,75
3,488	1,233	3,64	0,719
3,397	1,272	3,584	0,676
3,317	1,312	3,511	0,629
3,231	1,362	3,433	0,579
3,169	1,403	3,358	0,538
3,093	1,459	3,263	0,488
3,024	1,516	3,163	0,442
2,96	1,575	3,062	0,399
2,888	1,647	2,939	0,351
2,773	1,777	2,738	0,282
2,701	1,865	2,587	0,24
2,619	1,972	2,409	0,197
2,534	2,09	2,221	0,158
2,461	2,192	2,048	0,128
2,39	2,291	1,875	0,103
2,314	2,397	1,696	0,08
2,248	2,482	1,539	0,064
2,177	2,57	1,378	0,049
2,117	2,635	1,241	0,039
2,062	2,686	1,119	0,031
2,003	2,736	0,999	0,024
1,955	2,765	0,901	0,02
1,902	2,785	0,799	0,015
1,845	2,798	0,697	0,012
1,794	2,791	0,611	0,009
1,755	2,78	0,549	0,007