

Los diagramas de zonas de predominio. Parte 3.

Un auxiliar en la enseñanza de la química de las disoluciones.

Ignacio González Martínez y Alberto Rojas Hernández.
 Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
 Departamento de Química. Apartado Postal 55-534.
 09340 México D. F.

II.- Diagramas de zonas de predominio dependientes de dos variables.

B) Sistemas del tipo $L/M/ML/ML_2$ en presencia de X .

Resumen

En este último artículo de la serie se generaliza a sistemas del tipo $L/M/ML/ML_2$ el método de construcción de diagramas de zonas de predominio de especies químicas dependientes de dos variables, presentado en el artículo anterior (González, 1988b). Se da un ejemplo y se discuten algunas de las ventajas técnicas y didácticas del método.

Introducción

En artículos anteriores (González, 1988a y 1988b) se ha discutido la construcción de diagramas de zonas de predominio dependientes de una variable, sus alcances y limitaciones, para sistemas del tipo $L/M/ML$ y $L/M/ML/ML_2$; así como la construcción de diagramas dependientes de dos variables para sistemas del tipo $L/M/ML$ con amortiguamiento en X .

Sin embargo, en la naturaleza es poco frecuente el caso de tener sistemas que puedan clasificarse como monodonadores de partículas. Es mucho más común el caso de sistemas que se comportan como polidonadores de partículas.

En el presente artículo se estudiará la construcción de diagramas de zonas de predominio dependientes de dos variables, para sistemas del tipo $L/M/ML/ML_2$ en presencia de X , a partir de la generalización de los conceptos más importantes puestos en evidencia en los artículos anteriores de la serie (González, 1988a y 1988b).

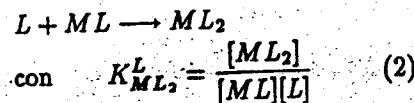
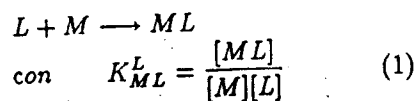
Desarrollo.

3. Sistemas del tipo $L/M/ML/ML_2$ en presencia de X .

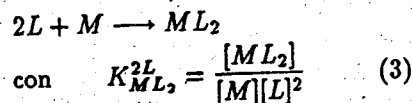
• 3.1 Equilibrios químicos presentes en el sistema.

Sea un sistema en donde se encuentran presentes la sustancia X y

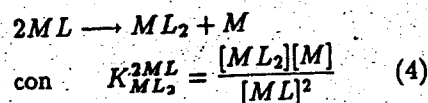
• los equilibrios de formación sucesivos



• el equilibrio de formación global

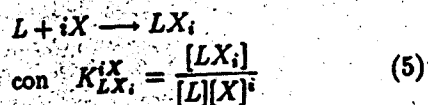


• y el equilibrio de dismutación

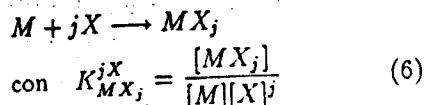


La notación utilizada ha sido explicada anteriormente (González 1988a).

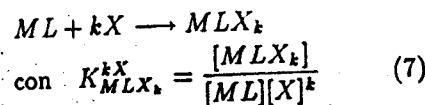
Si L , M , ML y ML_2 pueden reaccionar con X para formar las especies LX , LX_2, \dots, LX_d ; MX , MX_2, \dots, MX_b ; MLX , MLX_2, \dots, MLX_c ; ML_2X , ML_2X_2, \dots, ML_2X_d ; en el sistema también se presentan los equilibrios:



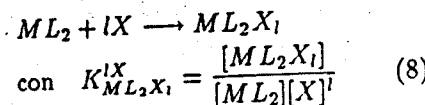
siendo $i \in \{0, 1, \dots, a\}$



siendo $j \in \{0, 1, \dots, b\}$



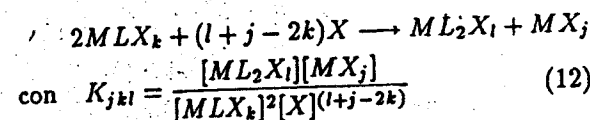
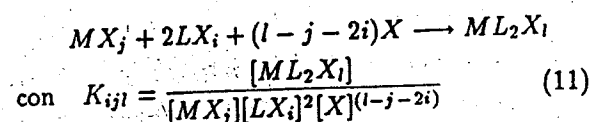
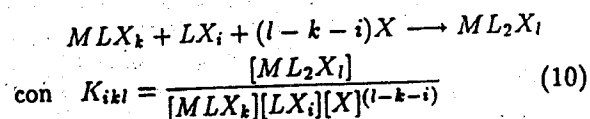
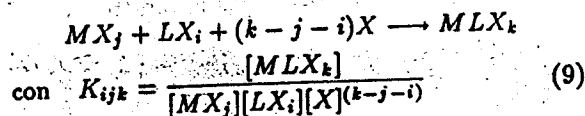
siendo $k \in \{0, 1, \dots, c\}$ y



siendo $l \in \{0, 1, \dots, d\}$

(Por definición $LX_0 = L$, $MX_0 = M$, $MLX_0 = ML$, $ML_2X_0 = ML_2$ y $K_{LX_0}^{0X} = K_{MX_0}^{0X} = K_{MLX_0}^{0X} = K_{ML_2X_0}^{0X} = 1$).

Otros equilibrios en ese sistema son aquéllos tales que



Por otra parte, utilizando la ley de Hess se puede demostrar que las constantes de equilibrio K_{ijk} , K_{ikl} , K_{ijl} y K_{jkl} son dependientes de las constantes de los equilibrios (1) a (8).

• 3.2 Equilibrios representativos y constantes condicionales.

Dada la gran cantidad de equilibrios y especies presentes en este sistema, puede esperarse una gran complejidad. Por lo tanto, para abordar su

estudio se considerará que se mantiene constante la concentración molar de X en el sistema ($[X] = \text{constante}$). Esto define la condición de amortiguamiento (en X).

El amortiguamiento en X determina cuáles de las especies de LX_i , MX_j , MLX_k y ML_2X_l predominan en el sistema (González, 1988a). Esto hace que sólo uno de cada conjunto de equilibrios, representados por cada ecuación (de la (9) a la (12)), predomine para un valor dado de pX . Es por eso que tales equilibrios reciben el nombre de *equilibrios representativos*.

Por otra parte, de la definición de constantes de equilibrio que se hace de (9) a (12) bajo condiciones de amortiguamiento en X , pueden definirse las constantes condicionales (González, 1988b):

$$K'_{ijk} = K_{ijk}[X]^{(k-j-i)}$$

$$= \frac{[MLX_k]}{[MX_j][LX_i]} \quad (13)$$

$$K'_{ikl} = K_{ikl}[X]^{(l-k-i)}$$

$$= \frac{[ML_2X_l]}{[MLX_k][LX_i]} \quad (14)$$

$$K'_{ijl} = K_{ijl}[X]^{(l-j-2i)}$$

$$= \frac{[ML_2X_l]}{[MX_j][LX_i]^2} \quad (15)$$

$$K'_{jkl} = K_{jkl}[X]^{(l+j-2k)}$$

$$= \frac{[ML_2X_l][MX_j]}{[MLX_k]^2} \quad (16)$$

K'_{ijk} , K'_{ikl} , K'_{ijl} y K'_{jkl} pueden depender del valor de $[X]$ impuesto, ya que es constante bajo condiciones de amortiguamiento en X ; en ese caso K'_{ijk} y K'_{ikl} toman la forma matemática de las constantes de equilibrio de formación sucesivas, K'_{ijl} la de una constante de equilibrio de formación global y K'_{jkl} la de una constante de equilibrio de dismutación.

Entonces, de acuerdo a la estructura formal puesta en evidencia, el "bidonador" de LX_i es ML_2X_l , su "birreceptor" conjugado es MX_j y MLX_k es el "anfolito" en el sistema aquí definido.

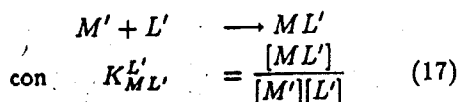
• 3.3 Especies generalizadas L' , M' , ML' y ML'_2 , equilibrios generalizados y sus constantes condicionales.

Si se consideran diferentes valores de pX impuesto, es posible que los equilibrios representativos del conjunto de equilibrios definidos en (9) a (12) sean distintos para cada valor de pX estu-

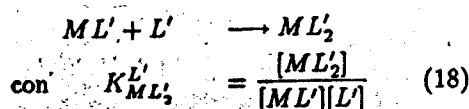
diado, por el cambio en las especies predominantes de LX_i , MX_j , MLX_k y ML_2X_l . A pesar de este cambio, es conveniente englobar al conjunto de equilibrios representativos de cada tipo para estudiar, de manera continua y única, los cambios en el amortiguamiento de X en diferentes sistemas.

Con este fin, se vuelve necesario definir las especies generalizadas L' , M' , ML' y ML'_2 como las especies predominantes de LX_i , MX_j , MLX_k y ML_2X_l respectivamente a un valor de pX dado; lo que implica el conocimiento de los diagramas de zonas de predominio de L' , M' , ML' y ML'_2 en función de pX .

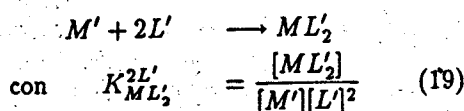
De esta forma, el conjunto de equilibrios representativos del tipo definido en (9), en su zona de predominio respectiva, define el equilibrio generalizado sucesivo de formación



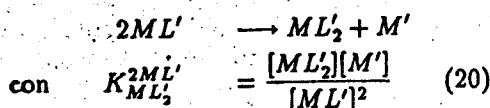
el conjunto de equilibrios representativos definidos en (10), en su zona de predominio respectiva, define el equilibrio generalizado sucesivo de formación



el conjunto de equilibrios representativos definidos en (11), en su zona de predominio respectiva, define el equilibrio generalizado global de formación



el conjunto de equilibrios representativos definidos en (12), en su zona de predominio respectiva, define el equilibrio generalizado de dismutación



ML'_2 resulta ser el "bidonador generalizado" de la "partícula generalizada", L' ; M' es el "birreceptor generalizado" del sistema y ML' su "anfolito generalizado".

Las constantes condicionales definidas en (17) a (20) son función de las constantes condicionales respectivas definidas en (13) a (16).

Esto demuestra que para un valor dado de $[X]$ las constantes condicionales de los equilibrios definidos en (17) a (20) toman un valor a esa condición impuesta. Por lo tanto, la estructura matemática que las relaciona entre sí es exactamente igual a la de los sistemas bidonadores de L (del tipo $L/M/ML/ML_2$) en ausencia de X .

Dicho de otra forma, existe un isomorfismo entre las constantes de equilibrio de sistemas binarios del tipo $L/M/ML/ML_2$ y sistemas ternarios del tipo $L'/M'/ML'/ML'_2$ a $[X]$ impuesta.

Esto implica que el estudio de diagramas de distribución y de zonas de predominio propuesto en el primer artículo de esta serie (González, 1988a) es generalizable para sistemas del tipo $L/M/ML/ML_2$ bajo condiciones de amortiguamiento en X , mediante la definición de especies y equilibrios generalizados y sus constantes condicionales asociadas.

• 3.4 Diagramas de zonas de predominio dependientes de las variables pL' y pX .

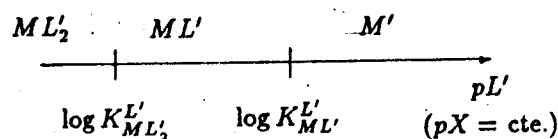
Así, puede haber dos tipos de diagrama de zonas de predominio a un valor impuesto de pX' .

• 3.4.1 Sistemas con $K_{ML'_2}^{2ML'} < 1$ (o bien $\log K_{ML'_2}^{2ML'} < \log K_{ML'}^{L'}$).

Aplicando las condiciones suficientes y necesarias deducidas anteriormente (González, 1988a) se puede concluir que, a pX constante:

- $[M'] > [ML']$ y $[M'] > [ML'_2]$
- si y sólo si $pL' > \log K_{ML'}^{L'}$
- $[ML'] > [M']$ y $[ML'] > [ML'_2]$
- si y sólo si $\log K_{ML'_2}^{L'} < pL' < \log K_{ML'}^{L'}$
- y $[ML'_2] > [M']$ y $[ML'_2] > [ML']$
- si y sólo si $pL' < \log K_{ML'_2}^{L'}$

lo que conduce al siguiente diagrama de zonas de predominio:



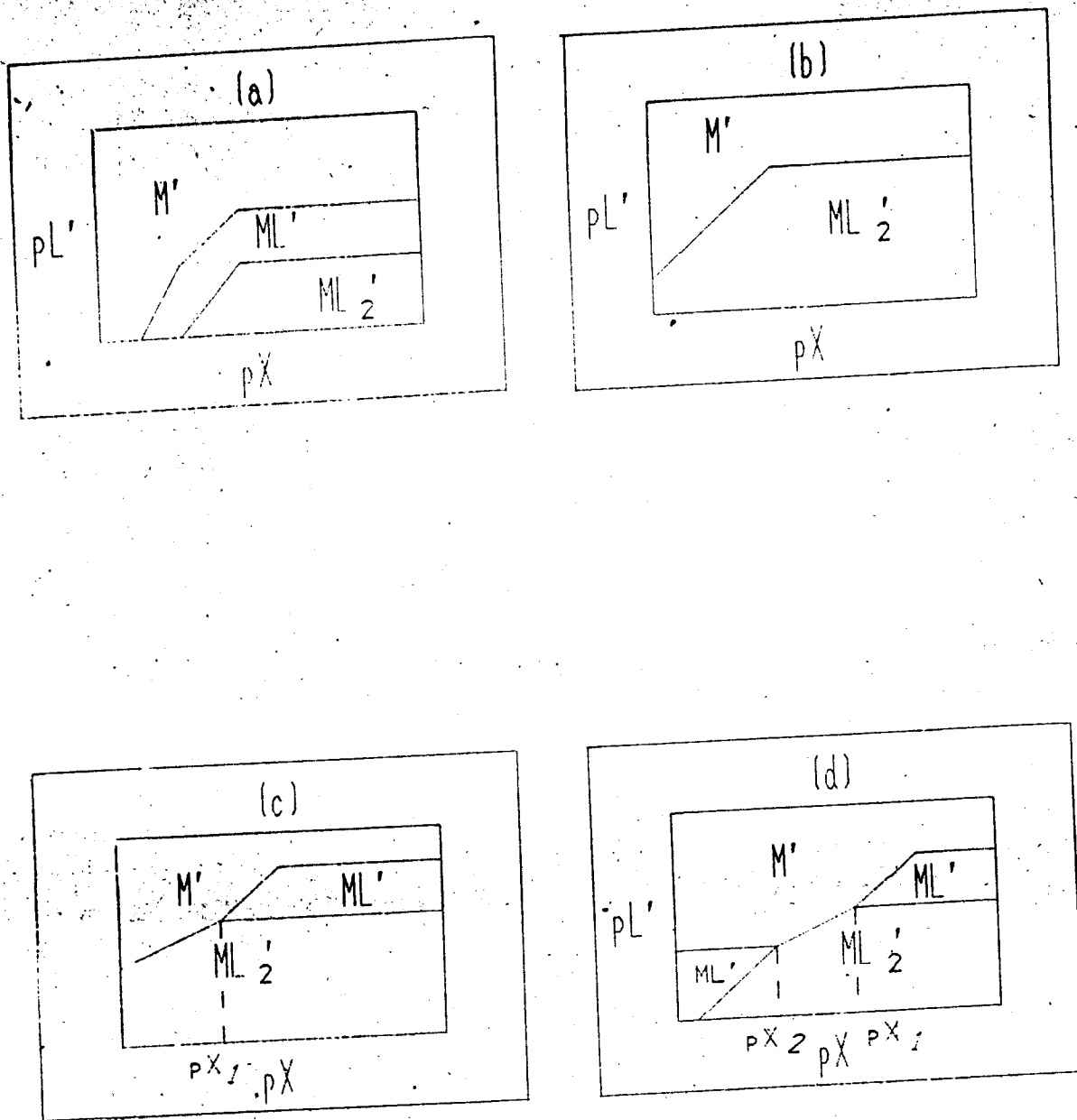


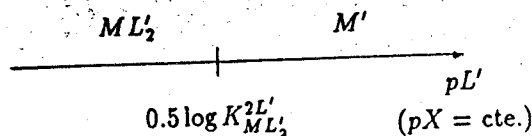
Figura 1. Algunos perfiles de los diagramas de zonas de predominio bidimensionales pL'/pX .
 (a) $K_{ML_2}^{2ML'} < 1$ para todo valor de pX . (b) $K_{ML_2}^{2ML'} \geq 1$ para todo valor de pX . (c) $K_{ML_2}^{2ML'} < 1$ si $pX > pX_1$ y $K_{ML_2}^{2ML'} \geq 1$ si $pX \leq pX_1$. (d) $K_{ML_2}^{2ML'} \geq 1$ si $pX_2 \leq pX \leq pX_1$ y $K_{ML_2}^{2ML'} < 1$ en otro caso.

• 3.4.2 Sistemas con $K_{ML_2}^{2ML'} \geq 1$ (o bien $\log K_{ML_2}^{ML'} \geq \log K_{ML_2}^{ML'}$).

En este caso se puede concluir que, para un valor de pX dado:

$$\begin{aligned}
 [M'] > [ML'] & \quad \text{y} \quad [M'] > [ML'_2] \\
 \text{si y sólo si} & \quad pL' > 0.5 \log K_{ML_2}^{2ML'} \\
 \text{y} \quad [ML'_2] > [ML'] & \quad \text{y} \quad [ML'_2] > [M'] \\
 \text{si y sólo si} & \quad pL' < 0.5 \log K_{ML_2}^{2ML'}
 \end{aligned}$$

lo que lleva al diagrama de zonas de predominio:



• 3.4.3 Diagrama de zonas de predominio pL'/pX .

Como puede esperarse, hay una infinidad de diagramas de zonas de predominio de las especies $M'/ML'/ML'_2$ con pL' , ya que existe uno de ellos para cada condición de pX impuesta.

Todos estos diagramas pueden representarse en el plano pL'/pX . Sin embargo, ya que es posible que la estabilidad de la especie ML' sea muy diferente para valores de pX distintos, puede haber varios tipos de diagrama de zonas de predominio bidimensional.

En la figura 1 se muestran diversas posibilidades para el perfil del diagrama pL'/pX , según sea la funcionalidad de la constante condicional del equilibrio generalizado de dismutación de ML' .

Puede concluirse entonces que siempre debe tenerse en cuenta que el aspecto del diagrama de zonas de predominio en cada caso está directamente relacionado con la estabilidad de ML' de acuerdo a las condiciones de pX impuestas.

4 Ejemplo. Diagrama de zonas de predominio de las especies del $Zn(II)$ a pH impuesto con amortiguador de oxalatos (Ox').

Para ejemplificar la utilidad del método propuesto se estudiará ahora el comportamiento químico del $Zn(II)$ en sistemas amortiguados en pH con una mezcla de ácido oxálico y oxalatos.

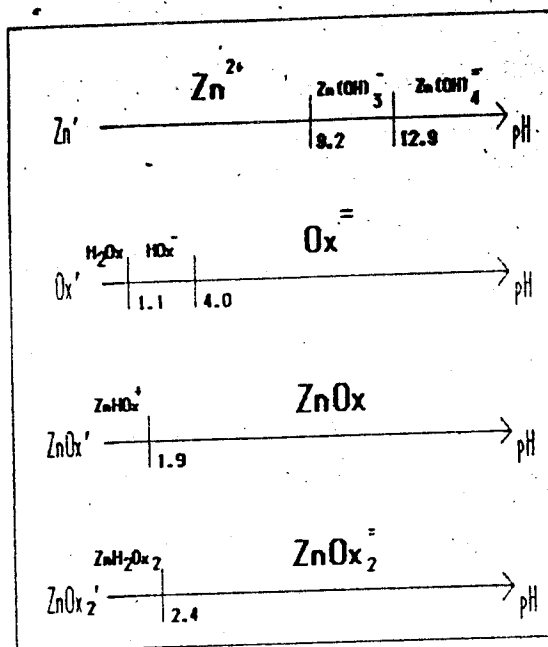


Figura 2. Diagramas de zonas de predominio de las especies $H_iOx^{(i-2)}$, $Zn(OH)_j^{(2-j)}$, ZnH_kOx^{k+} y $ZnH_lOx_2^{(l-2)}$ en función del pH en agua a temperatura de $25^\circ C$. Las especies predominantes de los conjuntos $H_iOx^{(i-2)}$, $Zn(OH)_j^{(2-j)}$, ZnH_kOx^{k+} y $ZnH_lOx_2^{(l-2)}$ pueden identificarse con las especies generalizadas Ox' , Zn' , $ZnOx'$ y $ZnOx_2'$, respectivamente.

• 4.1 Equilibrios químicos presentes en el sistema.

La tabla I muestra todos los equilibrios químicos de las especies Zn^{2+} , Ox^{2-} , $ZnOx$ y $ZnOx_2^{2-}$ con las especies H_3O^+ y OH^- en el sistema.

Las tablas II, III, IV y V muestran todos los equilibrios posibles de formación y dismutación de los diferentes complejos de $Zn(II)$ con oxalatos, que relacionan a todas las especies mostradas en la tabla I de acuerdo a un esquema bidimensional de oxalatos.

• 4.2 Equilibrios representativos y constantes condicionales.

Como es de esperar, sólo algunos de los equilibrios presentados en las tablas II a V son representativos.

La figura 2 no sólo muestra las especies de $Zn(II)$ predominantes en el sistema, sino que también ayuda a seleccionar rápidamente los equilibrios representativos de formación y de dismutación del conjunto mostrado en las tablas II a V. Este conjunto de equilibrios representativos se muestra en las tablas VI a IX.

- 4.3 Especies generalizadas Ox' , Zn' , $ZnOx'$ y $ZnOx'_2$. Equilibrios generalizados y sus constantes condicionales dependientes del pH .

De acuerdo a la teoría mostrada en el párrafo 3.3 de este artículo, pueden definirse especies generalizadas bajo amortiguamiento en el pH a través de las especies predominantes correspondientes según las condiciones impuestas.

Así, Ox' es la especie predominante del conjunto de especies $H_iOx^{(i-2)}$, Zn' es la predominante del conjunto de especies $Zn(OH)_j^{2-j}$, $ZnOx'$ es la predominante del conjunto de especies ZnH_kOx^{k+} y $ZnOx'_2$ es la predominante del conjunto de especies $ZnH_lOx_2^{(l-2)}$ para un valor de pH dado.

De esta forma, las especies generalizadas así definidas están representadas gráficamente en la figura 2 y los equilibrios generalizados correspondientes lo están en las tablas VI a IX.

- 4.4 Diagrama de zonas de predominio pOx'/pH para las especies del $Zn(II)$ y algunas de sus aplicaciones.

La figura 3 muestra el diagrama bidimensional que representa las zonas de predominio de las especies generalizadas Zn' , $ZnOx'$ y $ZnOx'_2$, según las condiciones de pH y pOx' en el sistema.

Según puede calcularse, si $pH \leq 9.6$, las líneas de frontera en el predominio de las especies Zn' , $ZnOx'$ y $ZnOx'_2$ se encuentran por medio de las funciones

$$\log K_{ZnOx'}^{Ox'} \quad \text{y} \quad \log K_{ZnOx'_2}^{Ox'}$$

en tanto que si $pH \geq 9.6$ las líneas de frontera en dicho predominio están dadas por la función

$$0.5 \log K_{ZnOx'_2}^{2Ox'}$$

Esto se debe, como se ha explicado en el párrafo 3.4, a que

$$K_{ZnOx'_2}^{ZnOx'} \leq 1.0 \quad \text{si y sólo si} \quad pH \leq 9.6,$$

lo que se puede demostrar de acuerdo a las funciones mostradas en la tabla IX.

La utilidad del diagrama de zonas de predominio bidimensional pOx'/pH es evidente, ya que establece cuál de las especies de $Zn(II)$ es la que resulta más importante en un sistema en el que el pH se está controlando con una disolución reguladora de oxalatos. Esto, por supuesto, tiene importancia en el desarrollo de otros procesos tales como reacciones de complejación, reacciones redox, formación de nuevas fases, reparto entre fases, etc.; ya que la disponibilidad del $Zn(II)$ para reaccionar es diferente cuando esta imposición no se ha dado, o cuando se realiza con otro sistema regulador.

La figura 4 muestra la evolución del diagrama de distribución de las especies generalizadas del $Zn(II)$ con el pOx' a diferentes valores de pH en la disolución. Obsérvese que la interpretación a esta evolución puede darse en términos de la evolución de la constante condicional del equilibrio generalizado de dismutación, como ya se señaló anteriormente, pero es necesario hacer notar que esta evolución es la misma descrita en el primer artículo de esta serie para sistemas del tipo $L/M/ML/ML_2$ (González, 1988a).

Observaciones y comentarios

El ejemplo desarrollado anteriormente ilustra la potencialidad del método descrito en esta serie de artículos. La estructura formal puesta en evidencia permite simplificar el estudio de muchos sistemas ternarios al comportamiento de sistemas binarios, si el sistema se restringe químicamente de manera adecuada.

Tal vez lo más importante de la simplificación propuesta para el estudio de los sistemas, es que los criterios que se utilizan para establecer la estabilidad de las especies y el avance de los procesos, no cambian cuando las variables químicas controladas disminuyen de manera adecuada los grados de libertad del sistema. Es así como sistemas multicomponentes pueden ser estudiados en primera aproximación sin perder una visión simplificada del comportamiento de sus especies contribuyentes.

Esto es posible ya que el método es generalizable a sistemas polidonadores de la partícula L (del tipo $L/M/ML/\dots/ML_n$) en condiciones de amortiguamiento múltiple. (Rojas H. et al., 1988).

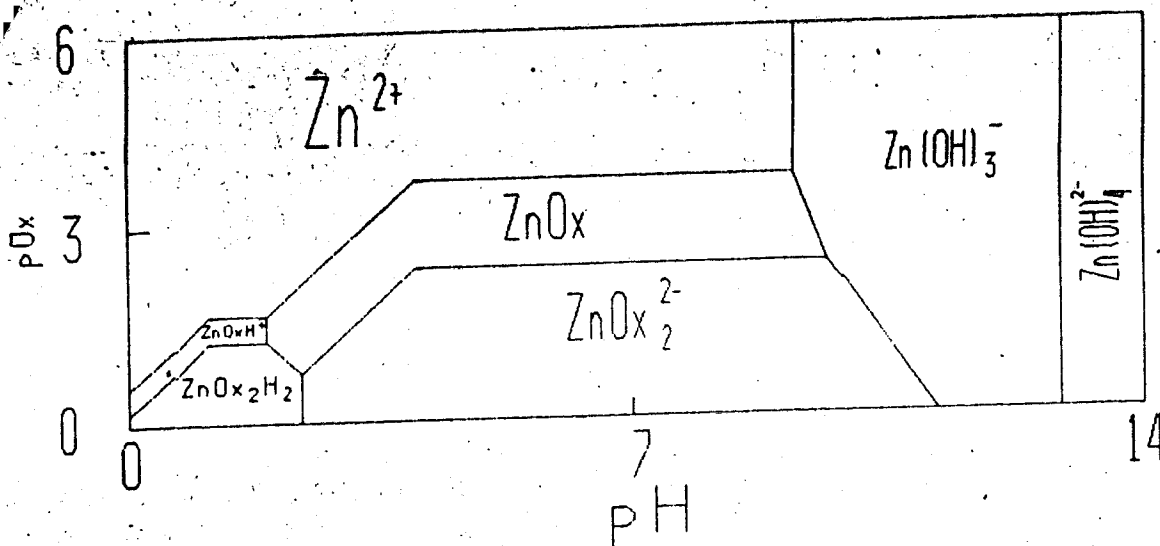


Figura 3. Diagrama de zonas de predominio pOx'/pH para el sistema $Zn(II)$ - oxalatos/ pH a temperatura de $25^\circ C$. (Ver el texto para la identificación de las diferentes líneas).

Conclusiones

En esta serie de artículos se ha pretendido mostrar las bases teóricas que fundamentan la construcción e interpretación de los diagramas de zonas de predominio bidimensionales para especies químicas presentes en una disolución.

Las limitaciones del método ya han sido señaladas en el primer artículo de la serie, por lo que ahora queremos hacer énfasis en sus aplicaciones didácticas.

Si bien es cierto que la construcción y aplicaciones de diagramas de zonas de predominio bidimensionales se dan en cursos avanzados de la licenciatura, en carreras del área de la química o en tópicos selectos de cursos de posgrado, su manejo, como apoyo didáctico en los cursos introductorios del tronco general de carreras científicas y técnicas, es simple y fácil de comprender.

Esto es, aunque el grado de abstracción requerido para la definición y manejo de las especies generalizadas no es bajo, la identificación de las especies predominantes en un sistema amortiguado con la ayuda de un conjunto de diagramas de zonas de predominio bidimensionales, se basa en una técnica gráfica muy simple.

Por otra parte, es necesaria la preparación intuitiva de los estudiantes de este nivel a conceptos más complejos, propios de la termodinámica axiomática o de la termodinámica estadística. El enfoque elegido en este caso es precisamente



el intuitivo, ya que las especies generalizadas se

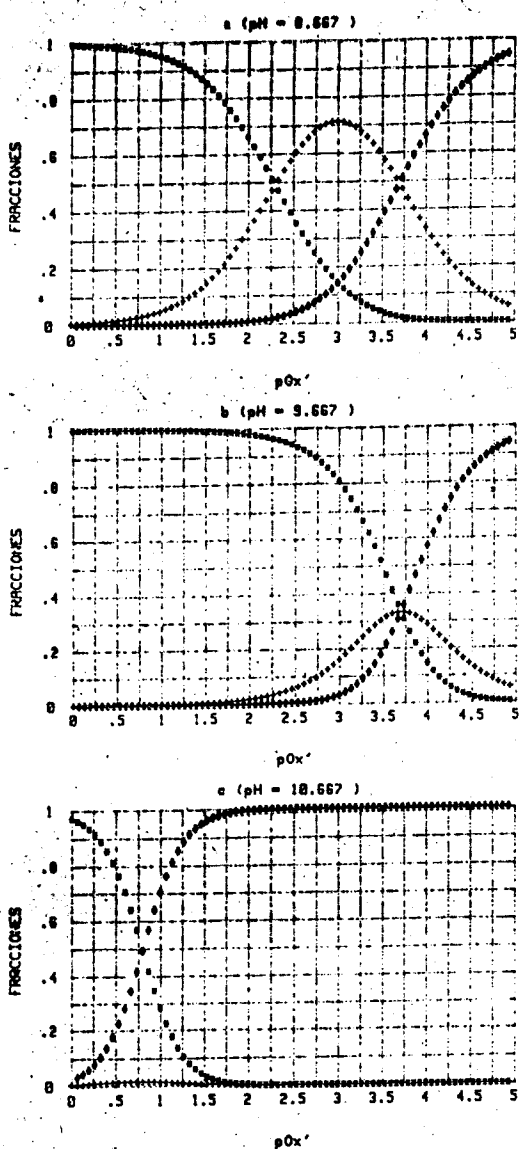


Figura 4. Algunos diagramas de distribución de las especies generalizadas del $Zn(II)$ con el pOx' . (a) $pH = 8.6$ y $K_{ZnOx'}^{2ZnOx_2'} = 0.040$. (b) $pH = 9.6$ y $K_{ZnOx'}^{2ZnOx_2'} = 1.000$. (c) $pH = 10.6$ y $K_{ZnOx'}^{2ZnOx_2'} = 1000.0$. Representación de especies: ### = Zn' , +++ = $ZnOx'$ y *** = $ZnOx_2'$.

identifican con las predominantes en una primera aproximación, y no como una combinación lineal de especies químicas

El análisis riguroso de este problema, elaborado por la escuela norteamericana dirigida por Kolthoff (Kolthoff, 1969), involucra la resolución de sistemas de ecuaciones lineales de más de diez incógnitas, por lo que resaltan las ventajas del método aquí propuesto.

Es así que nosotros proponemos la presentación y aplicación de estos diagramas como un auxiliar en la enseñanza de la química de las disoluciones, en los primeros contactos con el concepto de equilibrio químico en sistemas multivariables y multirreaccionantes, dejando los aspectos detallados de su construcción e interpretación termodinámica a etapas posteriores del aprendizaje.

Agradecimientos

Deseamos manifestar nuestro agradecimiento a los editores de la revista *Contactos*, en particular a José Luis Córdova, por el interés mostrado en la publicación de esta serie de artículos. Por otra parte también deseamos dedicar esta misma serie a todos nuestros estudiantes que no contaron con un apoyo didáctico como el que aquí encontrarán nuestros futuros estudiantes.

Referencias bibliográficas

- González, I. y Rojas, A. (1988a) *Contactos*, Vol. III, No. 2.
- González, I. y Rojas, A. (1988b) *Contactos*, Vol. III, No. 3.
- Kolthoff, I. M. et al. *Quantitative Chemical Analysis*. MacMillan, London. 1969.
- Ringbom, A. *Formación de Complejos en Química Analítica*. Alhambra, Madrid 1979.
- Rojas H., A.; González, I.; Galicia, L.; Quiroz, M. A. y Meas, Y. *Diagramas de zonas de predominio polidimensionales para equilibrios no redox*. Ponencia presentada en el Tercer Congreso de Química de América del Norte. Junio de 1988. Toronto, Canadá.

Tabla I.
Equilibrios químicos de las reacciones de Zn^{2+} , Ox^{2-} , $ZnOx$ y $ZnOx_2^{2-}$ con H_3O^+ y OH^- ($Ox^{2-} \equiv$ ion oxalato).

Equilibrios químicos		i	j (3)	k	l (3)	$\log K$ (1)
a)	$Ox^{2-} + iH_3O^+ \rightleftharpoons H_iOx^{(i-2)} + iH_2O$	0	$Zn^{2+} + 2jH_2O$	$ZnH_kOx^{k+} + kH_2O$	0	$\log K_{H_iOx}^{iH}$ (2)
	$Ox^{2-} + 0H_3O^+ \rightleftharpoons H_0Ox^{2-} + 0H_2O$	1	$Zn^{2+} + 0H_2O$	$ZnH_0Ox + 0H_2O$	0	1.0
	$Ox^{2-} + H_3O^+ \rightleftharpoons HOx^- + H_2O$	2	$Zn^{2+} + 2H_2O$	$ZnHOx^+ + H_2O$	1	4.0
	$Ox^{2-} + 2H_3O^+ \rightleftharpoons H_2Ox + 2H_2O$	3	$Zn^{2+} + 6H_2O$	$ZnH_2Ox^{2+} + 2H_2O$	2	5.1
b)	$Zn(OH)_j^{(2-j)} + jH_3O^+ \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2jH_2O$	0	$Zn^{2+} + 0H_2O$	$ZnH_kOx^{k+} + kH_2O$	0	$\log K_{Zn}^{jH}$ (4)
	$Zn(OH)_3^{2+} + 0H_3O^+ \rightleftharpoons Zn^{2+} + 0H_2O$	1	$Zn^{2+} + 2H_2O$	$ZnH_0Ox + 0H_2O$	0	1.0
	$Zn(OH)_4^+ + H_3O^+ \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2H_2O$	2	$Zn^{2+} + 6H_2O$	$ZnHOx^+ + H_2O$	1	9.6
	$Zn(OH)_5^{0} + 3H_3O^+ \rightleftharpoons Zn^{2+} + 6H_2O$	3	$Zn^{2+} + 8H_2O$	$ZnH_2Ox^{2+} + 2H_2O$	2	27.6
	$Zn(OH)_6^{1-} + 4H_3O^+ \rightleftharpoons Zn^{2+} + 8H_2O$	4				40.5
c)	$ZnOx + kH_3O^+ \rightleftharpoons ZnH_kOx^{k+} + kH_2O$					$\log K_{ZnH_kOx}^{kH}$ (4)
	$ZnOx + 0H_3O^+ \rightleftharpoons ZnH_0Ox + 0H_2O$					1.0
	$ZnOx + H_3O^+ \rightleftharpoons ZnHOx^+ + H_2O$					1.9
d)	$ZnOx_2^{2-} + lH_3O^+ \rightleftharpoons ZnH_lOx_2^{(l-2)} + lH_2O$	0	$Zn^{2+} + 2jH_2O$	$ZnH_kOx^{k+} + kH_2O$	0	$\log K_{ZnH_lOx_2}^{lH}$ (4)
	$ZnOx_2^{2-} + 0H_3O^+ \rightleftharpoons ZnH_0Ox_2^{2-} + 0H_2O$	1	$Zn^{2+} + 0H_2O$	$ZnH_0Ox + 0H_2O$	0	1.0
	$ZnOx_2^{2-} + 2H_3O^+ \rightleftharpoons ZnH_2Ox_2^{2+} + 2H_2O$	2	$Zn^{2+} + 6H_2O$	$ZnH_2Ox^{2+} + 2H_2O$	2	4.8

(1) los valores de las constantes son a temperatura de 25 °C

(2) (Ringbom, 1979)

(3) datos para $j = 2$ y $l = 1$ no están reportados en (Ringbom, 1979)

(4) combinando datos (Ringbom, 1979) en forma adecuada se obtienen los valores numéricos mostrados

Tabla II.

Primer conjunto de equilibrios sucesivos de formación de los complejos de ZnH_kOz^{k+} en presencia de H_3O^+ en agua. ($Oz^{2-} \equiv$ ion oxalato).

No. de equilibrio	$Zn(OH)_j^{(2-j)} + H_kOz^{(k-j)} + (k+j-i)H_3O^+ \rightarrow ZnH_kOz^{k+} + (k+2j-i)H_2O(1)$	i	j	k	$\log K_{ijk}(2)$	$\log K'_{ijk}(3)$
1	$Zn^{2+} + Oz^{2-} \rightarrow ZnOz$	0	0	0	3.7	3.7
2	$Zn^{2+} + HOz^- - H_3O^+ \rightarrow ZnOz - H_2O$	1	0	0	-0.3	-0.3 + pH
3	$Zn^{2+} + H_2Oz - 2H_3O^+ \rightarrow ZnOz - 2H_2O$	2	0	0	-1.4	-1.4 + 2pH
4	$Zn(OH)^+ + Oz^{2-} + H_3O^+ \rightarrow ZnOz + 2H_2O$	0	1	0	13.3	13.3 - pH
5	$Zn(OH)^+ + HOz^- \rightarrow ZnOz + H_2O$	1	1	0	9.3	9.3
6	$Zn(OH)^+ + H_2Oz - H_3O^+ \rightarrow ZnOz$	2	1	0	8.2	8.2 + pH
7	$Zn(OH)_3^- + Oz^{2-} + 3H_3O^+ \rightarrow ZnOz + 6H_2O$	0	3	0	31.3	31.3 - 3pH
8	$Zn(OH)_3^- + HOz^- + 2H_3O^+ \rightarrow ZnOz + 5H_2O$	1	3	0	27.3	27.3 - 2pH
9	$Zn(OH)_3^- + H_2Oz + H_3O^+ \rightarrow ZnOz + 4H_2O$	2	3	0	26.2	26.2 - pH
10	$Zn(OH)_4^{2-} + Oz^{2-} + 4H_3O^+ \rightarrow ZnOz + 8H_2O$	0	4	0	44.2	44.2 - 4pH
11	$Zn(OH)_4^{2-} + HOz^- + 3H_3O^+ \rightarrow ZnOz + 7H_2O$	1	4	0	40.2	40.2 - 3pH
12	$Zn(OH)_4^{2-} + H_2Oz + 2H_3O^+ \rightarrow ZnOz + 6H_2O$	2	4	0	39.1	39.1 - 2pH
13	$Zn^{2+} + Oz^{2-} + H_3O^+ \rightarrow ZnHOz^+ + H_2O$	0	0	1	5.6	5.6 - pH
14	$Zn^{2+} + HOz^- \rightarrow ZnHOz^+$	1	0	1	1.6	1.6
15	$Zn^{2+} + H_2Oz - H_3O^+ \rightarrow ZnHOz^+ - H_2O$	2	0	1	0.5	0.5 + pH
16	$Zn(OH)^+ + Oz^{2-} + 2H_3O^+ \rightarrow ZnHOz^+ + 3H_2O$	0	1	1	15.2	15.2 - 2pH
17	$Zn(OH)^+ + HOz^- + H_3O^+ \rightarrow ZnHOz^+ + 2H_2O$	1	1	1	11.2	11.2 - pH
18	$Zn(OH)^+ + H_2Oz \rightarrow ZnHOz^+ + H_2O$	2	1	1	10.1	10.1
19	$Zn(OH)_3^- + Oz^{2-} + 4H_3O^+ \rightarrow ZnHOz^+ + 7H_2O$	0	3	1	33.2	33.2 - 4pH
20	$Zn(OH)_3^- + HOz^- + 3H_3O^+ \rightarrow ZnHOz^+ + 6H_2O$	1	3	1	29.2	29.2 - 3pH
21	$Zn(OH)_3^- + H_2Oz + 2H_3O^+ \rightarrow ZnHOz^+ + 5H_2O$	2	3	1	28.1	28.1 - 2pH
22	$Zn(OH)_4^{2-} + Oz^{2-} + 5H_3O^+ \rightarrow ZnHOz^+ + 9H_2O$	0	4	1	46.1	46.1 - 5pH
23	$Zn(OH)_4^{2-} + HOz^- + 4H_3O^+ \rightarrow ZnHOz^+ + 8H_2O$	1	4	1	42.1	42.1 - 4pH
24	$Zn(OH)_4^{2-} + H_2Oz + 3H_3O^+ \rightarrow ZnHOz^+ + 7H_2O$	2	4	1	41.0	41.0 - 3pH

(1) el signo negativo en el coeficiente de H_3O^+ ó de H_2O equivale a escribirlo con signo positivo en el lado opuesto del equilibrio

(2) los valores de $\log K_{ijk}$ son a temperatura de 25 °C y se obtienen relacionando adecuadamente los datos de la tabla I y $\log K_{001}$ ó $\log K_{000}$ de esta tabla (Ringbom, 1979)

(3) $K'_{ijk} = K_{ijk}[H_3O^+]^{(k+j-i)}$

Tabla III.

Segundo conjunto de equilibrios sucesivos de formación de los complejos de $ZnH_iO_x^{(i-2)}$ en presencia de H_3O^+ en agua. ($Ox^{2-} \equiv$ ion oxalato).

No. de equilibrio	$ZnH_kO_x^{k+} + H_iO_x^{(i-2)} + (l-k-i)H_3O^+ \rightleftharpoons ZnH_lO_x^{(l-2)} + (l-k-i)H_2O(1)$	i	k	l	$\log K_{i,kl}(2)$	$\log K'_{i,kl}(3)$
1	$ZnOx + Ox^{2-} \rightleftharpoons ZnOx_2^{2-}$	0	0	0	2.3	2.3
2	$ZnOx + HOx^- - H_2O \rightleftharpoons ZnOx_2^- - H_2O$	1	0	0	-1.7	-1.7 + pH
3	$ZnOx + H_2Ox - 2H_3O^+ \rightleftharpoons ZnOx_2^{2-} - 2H_2O$	2	0	0	-2.8	-2.8 + 2pH
4	$ZnHOx^+ + Ox^{2-} - H_3O^+ \rightleftharpoons ZnOx_2^- - H_2O$	0	1	0	0.4	0.4 + pH
5	$ZnHOx^+ + HOx^- - 2H_3O^+ \rightleftharpoons ZnOx_2^{2-} - 2H_2O$	1	1	0	-3.6	-3.6 + 2pH
6	$ZnHOx^+ + H_2Ox - 3H_3O^+ \rightleftharpoons ZnOx_2^{2-} - 3H_2O$	2	1	0	-4.7	-4.7 + 3pH
7	$ZnOx + Ox^{2-} + 2H_3O^+ \rightleftharpoons ZnH_2Ox_2$	0	0	2	7.1	7.1 - 2pH
8	$ZnOx + HOx^- + H_3O^+ \rightleftharpoons ZnH_2Ox_2 + H_2O$	1	0	2	3.1	3.1 - pH
9	$ZnOx + H_2Ox \rightleftharpoons ZnH_2Ox_2$	2	0	2	2.0	2.0
10	$ZnHOx^+ + Ox^{2-} + H_3O^+ \rightleftharpoons ZnH_2Ox_2 + H_2O$	0	1	2	5.2	5.2 - pH
11	$ZnHOx^+ + HOx^- \rightleftharpoons ZnH_2Ox_2$	1	1	2	1.2	1.2
12	$ZnOx^+ + H_2Ox - H_3O^+ \rightleftharpoons ZnH_2Ox_2 - H_2O$	2	1	2	0.1	0.1 + pH

(1) el signo negativo en el coeficiente de H_3O^+ ó de H_2O equivale a

escribirlo con signo positivo en el lado opuesto del equilibrio

(2) los valores de $\log K_{i,kl}$ son a temperatura de 25°C y se obtienen relacionando adecuadamente los datos de la tabla I y $\log K_{002}$ ó $\log K_{000}$ de esta tabla (Ringbom, 1979)

(3) $K'_{i,kl} = K_{i,kl}[H_3O^+]^{(l-k-i)}$

Tabla IV.

Equilibrios globales de formación de los complejos de $ZnH_iOx_j^{(i-j)}$ en presencia de H_2O en agua. ($Ox^{2-} \equiv$ ion oxalato).

No. de equilibrio	$Zn(OH)_j^{(2-j)} + 2H_2O_x^{(i-2)} + (1+j-2i)H_3O^+ \rightarrow$	$ZnH_iOx_j^{(i-2)} + (1+2j-2i)H_2O(1)$	i	j	l	$\log K_{ijl} (2)$	$\log K'_{ijl} (3)$
1	$Zn^{2+} + 2Ox^{2-}$	$ZnOx_2^{2-}$	0	0	0	6.0	6.0
2	$Zn^{2+} + 2HOx^- - 2H_2O$	$ZnOx_2^{2-} - H_2O$	1	0	0	-2.0	-2.0 + 2pH
3	$Zn^{2+} + 2H_2Ox - 4H_3O^+$	$ZnOx_2^{2-} - 4H_2O$	2	0	0	-4.2	-4.2 + 4pH
4	$Zn(OH)^+ + 2Ox^{2-} + H_3O^+$	$ZnOx_2^{2-} + 2H_2O$	0	1	0	15.6	15.6 - pH
5	$Zn(OH)^+ + 2HOx^- - H_3O^+$	$ZnOx_2^{2-}$	1	1	0	7.6	7.6 + pH
6	$Zn(OH)^+ + 2H_2Ox - 3H_3O^+$	$ZnOx_2^{2-} - 2H_2O$	2	1	0	5.4	5.4 + 3pH
7	$Zn(OH)_3^- + 2Ox^{2-} + 3H_3O^+$	$ZnOx_2^{2-} + 6H_2O$	0	3	0	33.6	33.6 - 3pH
8	$Zn(OH)_3^- + 2HOx^- + H_3O^+$	$ZnOx_2^{2-} + 4H_2O$	1	3	0	25.6	25.6 - pH
9	$Zn(OH)_3^- + 2H_2Ox - H_3O^+$	$ZnOx_2^{2-} + 2H_2O$	2	3	0	23.4	23.4 + pH
10	$Zn(OH)_4^{2-} + 2Ox^{2-} + 4H_3O^+$	$ZnOx_2^{2-} + 8H_2O$	0	4	0	46.5	46.5 - 4pH
11	$Zn(OH)_4^{2-} + 2HOx^- + 2H_3O^+$	$ZnOx_2^{2-} + 6H_2O$	1	4	0	38.5	38.5 - 2pH
12	$Zn(OH)_4^{2-} + 2H_2Ox$	$ZnOx_2^{2-} + 4H_2O$	2	4	0	36.3	36.3
13	$Zn^{2+} + 2Ox^{2-} + 2H_3O^+$	$ZnH_2Ox_2 + 2H_2O$	0	0	2	10.8	10.8 - 2pH
14	$Zn^{2+} + 2HOx^-$	ZnH_2Ox_2	1	0	2	2.8	2.8
15	$Zn^{2+} + 2H_2Ox - 2H_3O^+$	$ZnH_2Ox_2 - 2H_2O$	2	0	2	0.6	0.6 + 2pH
16	$Zn(OH)^+ + 2Ox^{2-} + 3H_3O^+$	$ZnH_2Ox_2 + 4H_2O$	0	1	2	20.4	20.4 - 3pH
17	$Zn(OH)^+ + 2HOx^- + H_3O^+$	$ZnH_2Ox_2 + 2H_2O$	1	1	2	12.4	12.4 - pH
18	$Zn(OH)^+ + 2H_2Ox - H_3O^+$	ZnH_2Ox_2	2	1	2	10.2	10.2 + pH
19	$Zn(OH)_3^- + 2Ox^{2-} + 5H_3O^+$	$ZnH_2Ox_2 + 8H_2O$	0	3	2	38.4	38.4 - 5pH
20	$Zn(OH)_3^- + 2HOx^- + 3H_3O^+$	$ZnH_2Ox_2 + 6H_2O$	1	3	2	30.4	30.4 - 3pH
21	$Zn(OH)_3^- + 2H_2Ox + H_3O^+$	$ZnH_2Ox_2 + 4H_2O$	2	3	2	28.2	28.2 - pH
22	$Zn(OH)_4^{2-} + 2Ox^{2-} + 6H_3O^+$	$ZnH_2Ox_2 + 10H_2O$	0	4	2	51.3	51.3 - 6pH
23	$Zn(OH)_4^{2-} + 2HOx^- + 4H_3O^+$	$ZnH_2Ox_2 + 8H_2O$	1	4	2	43.3	43.3 - 4pH
24	$Zn(OH)_4^{2-} + 2H_2Ox + 2H_3O^+$	$ZnH_2Ox_2 + 6H_2O$	2	4	2	41.1	41.1 - 2pH

(1) el signo negativo en el coeficiente de H_3O^+ ó de H_2O equivale a

escribirlo con signo positivo en el lado opuesto del equilibrio

(2) los valores de $\log K_{ijl}$ son a temperatura de 25 °C y se obtienen relacionando adecuadamente los datos de la tabla I y $\log K_{000}$ ó $\log K_{000}$ de esta tabla (Ringbom, 1979)

(3) $K'_{ijl} = K_{ijl}[H_3O^+]^{(4-j-2i)}$

Tabla V.
Equilibrios de dismutación de los complejos de $ZnH_1O_x^{k+}$ en presencia de H_3O^+ en agua. ($O_x^{2-} \equiv$ ion oxalato).

No. de equilibrio	$2ZnH_1O_x^{k+} + (l-j-2k)H_3O^+ \rightarrow ZnH_1O_x^{(l-2j-2k)} + Zn(OH)_j^{(2-j)}$	j	k	l	$\log K_{jkl}$ (2)	$\log K'_{jkl}$ (3)
1	$2ZnOx \rightarrow ZnOx_2^{2-} + Zn^{2+}$	0	0	0	-1.4	-1.4
2	$2ZnOx - H_3O^+ \rightarrow ZnOx_2^{2-} + Zn(OH)^+ - H_2O$	1	0	0	-11.0	-11.0 + pH
3	$2ZnOx - 2H_3O^+ \rightarrow ZnOx_2^{2-} + Zn(OH)_2 - 6H_2O$	3	0	0	-29.0	-29.0 + 3pH
4	$2ZnOx - 4H_3O^+ \rightarrow ZnOx_2^{2-} + Zn(OH)_3 - 8H_2O$	4	0	0	-41.9	-41.9 + 4pH
5	$2ZnHOx^+ - 2H_3O^+ \rightarrow ZnOx_2^{2-} + Zn^{2+} - 2H_2O$	0	1	0	-5.2	-5.2 + 2pH
6	$2ZnHOx^+ - 3H_3O^+ \rightarrow ZnOx_2^{2-} + Zn(OH)^+ - 4H_2O$	1	1	0	-14.8	-14.8 + 3pH
7	$2ZnHOx^+ - 5H_3O^+ \rightarrow ZnOx_2^{2-} + Zn(OH)_2 - 8H_2O$	3	1	0	-32.8	-32.8 + 5pH
8	$2ZnHOx^+ - 6H_3O^+ \rightarrow ZnOx_2^{2-} + Zn(OH)_3 - 10H_2O$	4	1	0	-45.7	-45.7 + 6pH
9	$2ZnOx + 2H_3O^+ \rightarrow ZnH_2Ox_2 + Zn^{2+} + 2H_2O$	0	0	2	3.4	3.4 - 2pH
10	$2ZnOx + H_3O^+ \rightarrow ZnH_2Ox_2 + Zn(OH)^+$	1	0	2	-6.2	-6.2 - pH
11	$2ZnOx - H_3O^+ \rightarrow ZnH_2Ox_2 + Zn(OH)_2 - 4H_2O$	3	0	2	-24.2	-24.2 + pH
12	$2ZnOx - 2H_3O^+ \rightarrow ZnH_2Ox_2 + Zn(OH)_3 - 6H_2O$	4	0	2	-37.1	-37.1 + 2pH
13	$2ZnHOx \rightarrow ZnH_2Ox_2 + Zn^{2+}$	0	1	2	-0.4	-0.4
14	$2ZnHOx^+ - H_3O^+ \rightarrow ZnH_2Ox_2 + Zn(OH)^+ - 2H_2O$	1	1	2	-10.0	-10.0 + pH
15	$2ZnHOx^+ - 3H_3O^+ \rightarrow ZnH_2Ox_2 + Zn(OH)_2 - 6H_2O$	3	1	2	-28.0	-28.0 + 3pH
16	$2ZnHOx^+ - 4H_3O^+ \rightarrow ZnH_2Ox_2 + Zn(OH)_3 - 8H_2O$	4	1	2	-40.9	-40.9 + 4pH

(1) el signo negativo en el coeficiente de H_3O^+ ó de H_2O equivale a escribirlo con signo positivo en el lado opuesto del equilibrio
 (2) los valores de $\log K_{jkl}$ son a temperatura de 25 °C y se obtienen relacionando adecuadamente los datos de la tabla I y $\log K_{002}$ ó $\log K_{000}$ de esta tabla (Ringbom, 1979)
 (3) $K'_{jkl} = K_{jkl}[H_3O^+]^{(l-j-2k)}$

Tabla VI.

Equilibrios representativos de formación de la especie generalizada $ZnOx'$ en todo el dominio de pH en agua. ($Ox^{2-} \equiv$ ion oxalato).

No. de equilibrio (1)	Intervalo de pH	Ox'	Zn'	$ZnOx'$	$Zn' + Ox'$	$ZnOx' (2)$	$\log K_{ZnOx'}$
15	$0.0 < pH < 1.1$	H_2Ox	Zn^{2+}	$ZnHOx^+$	$Zn^{2+} + H_2Ox + H_2O$	$ZnHOx^+ + H_3O^+$	$0.5 + pH$
14	$1.1 < pH < 1.9$	HOx^-	Zn^{2+}	$ZnHOx^+$	$Zn^{2+} + HOx^-$	$ZnHOx^+$	1.6
2	$1.9 < pH < 4.0$	HOx^-	Zn^{2+}	$ZnOx$	$Zn^{2+} + HOx^- + H_2O$	$ZnOx + H_3O^+$	$-0.3 + pH$
1	$4.0 < pH < 9.2$	Ox^{2-}	Zn^{2+}	$ZnOx$	$Zn^{2+} + Ox^{2-}$	$ZnOx$	3.7
7	$9.2 < pH < 12.9$	Ox^{2-}	$Zn(OH)_5^-$	$ZnOx$	$Zn(OH)_5^- + Ox^{2-} + 3H_3O^+$	$ZnOx + 6H_2O$	$31.3 - 3pH$
10	$12.9 < pH < 14.0$	Ox^{2-}	$Zn(OH)_4^{2-}$	$ZnOx$	$Zn(OH)_4^{2-} + 4H_3O^+ + Ox^{2-}$	$ZnOx + 8H_2O$	$44.2 - 4pH$

(1) el número de equilibrio corresponde a la numeración dada en la tabla II

(2) Ox' , Zn' y $ZnOx'$ son las especies generalizadas seleccionadas a partir de los diagramas de zonas de predominio de la figura 2

Tabla VII.

Equilibrios representativos de formación sucesiva de la especie generalizada $ZnOx'_2$ en todo el dominio de pH en agua. ($Ox^{2-} \equiv$ ion oxalato).

No. de equilibrio (1)	Intervalo de pH	Ox'	$ZnOx'$	$ZnOx'_2$	$ZnOx' + Ox'$	$ZnOx'_2 (2)$	$\log K_{ZnOx'_2}$
12	$0.0 < pH < 1.1$	H_2Ox	$ZnHOx^+$	ZnH_2Ox_2	$ZnHOx^+ + H_2Ox + H_2O$	$ZnH_2Ox_2 + H_3O^+$	$0.1 + pH$
11	$1.1 < pH < 1.9$	HOx^-	$ZnHOx^+$	ZnH_2Ox_2	$ZnHOx^+ + HOx^-$	ZnH_2Ox_2	1.2
8	$1.9 < pH < 2.4$	HOx^-	$ZnOx$	ZnH_2Ox_2	$ZnOx + HOx^- + H_3O^+$	$ZnH_2Ox_2 + H_3O$	$3.1 - pH$
2	$2.4 < pH < 4.0$	HOx^-	$ZnOx$	$ZnOx'_2^-$	$ZnOx + HOx^- + H_2O$	$ZnOx'_2^- + H_3O^+$	$-1.7 + pH$
1	$4.0 < pH < 14.0$	Ox^{2-}	$ZnOx$	$ZnOx'_2^-$	$ZnOx + Ox^{2-}$	$ZnOx'_2^-$	2.3

(1) el número de equilibrio corresponde a la numeración dada en la tabla III

(2) Ox' , $ZnOx'$ y $ZnOx'_2$ son las especies generalizadas seleccionadas a partir de los diagramas de zonas de predominio de la figura 2

Tabla IX.

Equilibrios representativos para la dismutación de la especie generalizada $ZnOx'$ en todo el dominio de pH en agua. ($Ox^{2-} \equiv$ ion oxalato).

No. de equilibrio (1)	Intervalo de pH	Zn'	$ZnOx'$	$ZnOx_2'$	$2ZnOx'$	$ZnOx_2' + Zn'$ (2)	$\log K_{ZnOx_2'}^{2ZnOx'}$
13	$0.0 < pH < 1.9$	Zn^{2+}	$ZnHOx^+$	ZnH_2Ox_2	$2ZnHOx^+$	$ZnH_2Ox_2 + Zn^{2+}$	-0.4
9	$1.9 < pH < 2.4$	Zn^{2+}	$ZnOx$	ZnH_2Ox_2	$2H_3O^+ + 2ZnOx$	$ZnH_2Ox_2 + Zn^{2+} + 2H_2O$	$3.4 - 2pH$
1	$2.4 < pH < 9.2$	Zn^{2+}	$ZnOx$	$ZnOx_2^-$	$2ZnOx$	$ZnOx_2^- + Zn^{2+}$	-1.4
3	$9.2 < pH < 12.9$	$Zn(OH)_2^-$	$ZnOx$	$ZnOx_2^-$	$6H_2O + 2ZnOx$	$ZnOx_2^- + Zn(OH)_2^- + 3H_3O^+$	$-29.0 + 3pH$
4	$12.9 < pH < 14.0$	$Zn(OH)_4^{2-}$	$ZnOx$	$ZnOx_2^-$	$8H_2O + 2ZnOx$	$ZnOx_2^- + Zn(OH)_4^{2-} + 4H_3O^+$	$-41.9 + 4pH$

(1) el número de equilibrio corresponde a la numeración dada en la tabla V

(2) Zn' , $ZnOx'$ y $ZnOx_2'$ son las especies generalizadas seleccionadas a partir de los diagramas de zonas de predominio de la figura 2

Tabla VIII.

Equilibrios representativos para la formación global de la especie generalizada $ZnOx_2'$ en todo el dominio de pH en agua. ($Ox^{2-} \equiv$ ion oxalato).

No. de equilibrio (1)	Intervalo de pH	Ox'	Zn'	$ZnOx_2'$	$Zn' + 2Ox'$	$ZnOx_2' (2)$	$\log K_{ZnOx_2'}^{2Ox'}$
15	$0.0 < pH < 1.1$	H_2Ox	Zn^{2+}	ZnH_2Ox_2	$Zn^{2+} + 2H_2Ox + 2H_2O$	$ZnH_2Ox_2 + 2H_3O^+$	$0.6 + 2pH$
14	$1.1 < pH < 2.4$	HOx^-	Zn^{2+}	ZnH_2Ox_2	$Zn^{2+} + 2HOx^-$	ZnH_2Ox_2	2.8
2	$2.4 < pH < 4.0$	HOx^-	Zn^{2+}	$ZnOx_2'^-$	$Zn^{2+} + 2HOx^- + 2H_2O$	$ZnOx_2'^- + 2H_3O^+$	$-2.0 + 2pH$
1	$4.0 < pH < 9.2$	Ox^{2-}	Zn^{2+}	$ZnOx_2'^-$	$Zn^{2+} + 2Ox^{2-}$	$ZnOx_2'^-$	6.0
7	$9.2 < pH < 12.9$	Ox^{2-}	$Zn(OH)_2^-$	$ZnOx_2'^-$	$Zn(OH)_2^- + 2Ox^{2-} + 3H_3O^+$	$ZnOx_2'^- + 6H_2O$	$33.6 - 3pH$
10	$12.9 < pH < 14.0$	Ox^{2-}	$Zn(OH)_4^{2-}$	$ZnOx_2'^-$	$Zn(OH)_4^{2-} + 2Ox^{2-} + 4H_3O^+$	$ZnOx_2'^- + 8H_2O$	$46.5 - 4pH$

(1) el número de equilibrio corresponde a la numeración dada en la tabla IV

(2) Ox' , Zn' y $ZnOx_2'$ son las especies generalizadas seleccionadas a partir de los diagramas de zonas de predominio de la figura 2