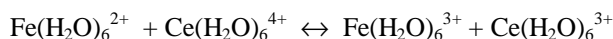
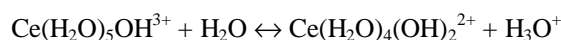
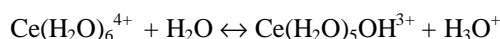


**VALORACIÓN DE Fe (II) CON SOLUCIÓN STANDARD DE Ce (IV)****REACCIÓN FUNDAMENTAL DE VALORACIÓN**

Intervienen:



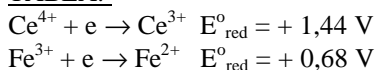
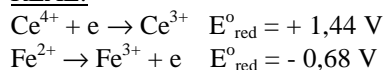
$\text{Ce}^{4+}$  : ácido fuerte  $\rightarrow$



Ambas reacciones se producen aún en medios tan ácidos como 1 M, el  $\text{Fe}^{3+}$  es menos ácido que el  $\text{Ce}^{4+}$ , dando las reacciones antes descritas a pH mayor que 7.

La concentración de protones óptima ronda los 0,5 M ó mayor, reprimiendo las reacciones anteriores y promoviendo la reacción del  $\text{Ce}^{4+}$  vs.  $\text{Fe}^{3+}$ .

Se utiliza el valorante  $\text{Ce}^{4+}$  en medio ácido sulfúrico 1 M  $\rightarrow \text{Ce}(\text{H}_2\text{O})_5\text{SO}_4^{2+}$  y  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{SO}_4)_2^{2-}$

**TABLA:****REAL:****CÁLCULO DE LA CONSTANTE DE EQUILIBRIO DE ESTA REACCIÓN:**

En el equilibrio a 25°C:

$$\log K = (n * E^{\circ}) / 0,059 = 1 * 0,76 / 0,059 = 12,9$$

$$\mathbf{K = 7,9 * 10^{12}}$$

Vemos que la reacción  $\text{Ce}^{4+}$  vs.  $\text{Fe}^{2+}$  se encuentra fuertemente favorecida y su velocidad es la suficiente como para considerarse de interés en volumetría redox.

### **CURVA DE VALORACIÓN:**

Su construcción permite prever el éxito de una posible valoración y ayuda a seleccionar un indicador adecuado.

25 ml de  $\text{Fe}^{2+}$  0,1 M vs.  $\text{Ce}^{4+}$  0,1 M en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 N:

Evolución de la FEM = f ml de valorante adicionado  $\rightarrow$  valoración REDOX

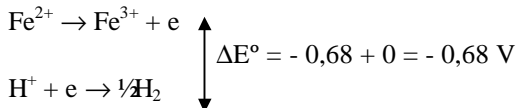
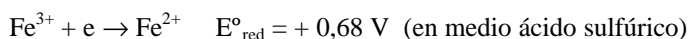
GRÁFICA DE VALORACIÓN: Se grafica el E del Electrodo indicador de platino respecto del Electrodo de referencia, según el volumen de valorante.

### **COMIENZO DE LA VALORACIÓN:**

La muestra de  $\text{Fe}^{2+}$  libera una pequeña cantidad de  $\text{Fe}^{3+}$ , al actuar el  $\text{H}^+$  del  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en pequeñas proporciones ya que:



### **CÁLCULO DE K:**



Entonces:  $\log K = n * E^\circ / 0,059 = 1 * (- 0,68) / 0,059 = - 11,5 \rightarrow K = 3,2 * 10^{-12}$

En el equilibrio habrá  $[\text{Fe}^{3+}]$  muy pequeñas. Además el oxígeno atmosférico transformará pequeñas  $[\text{Fe}^{2+}]$  a  $[\text{Fe}^{3+}] \rightarrow$   $\frac{1}{2}$ ácido lenta velocidad.

Se adiciona un reductor para transformar todo a  $\text{Fe}^{2+}$  (quedando mínimas cantidades de  $\text{Fe}^{3+}$ )

### **ANTES DE LLEGAR AL P.E.T:**

Cálculo del E del Electrodo indicador de platino para distintas adiciones del valorante a la muestra (tomamos 25 ml)

Adición de 1 ml de valorante  $\text{Ce}^{4+}$  0,1 M a la muestra:

$[\text{Fe}^{2+}]_{\text{inicial}} = 2,5 \text{ mmoles}$

$[\text{Ce}^{4+}]_{\text{adicionado}} = 0,1 \text{ mmoles} \rightarrow 0,1 \text{ mmol } \text{Ce}^{3+} \text{ y } 0,1 \text{ mmol } \text{Fe}^{3+}$  (productos de la reacción)

$[\text{Fe}^{2+}]_{\text{que queda}} = 2,4 \text{ mmoles}$

$[\text{Fe}^{3+}]$  y  $[\text{Fe}^{2+}]$  por la estequiometría de la reacción  
 $[\text{Ce}^{4+}]$  y  $[\text{Ce}^{3+}]$  intervienen en el cálculo de K

Se adopta el criterio de seguir la evolución de la valoración de las  $[\text{Fe}^{3+}]$  y  $[\text{Fe}^{2+}]$ :

$$E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = E^\circ_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} - \frac{0,059}{n} * \log \frac{[\text{Fe}^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}]} = 0,68 - 0,059 * \log (2,4 / 0,1) = 0,60 \text{ V}$$

Este cálculo con  $E = 0,60 \text{ V}$  responde a la semirreacción:  $\text{Fe}^{3+} + e \rightarrow \text{Fe}^{2+}$

Para la semirreacción inversa será:  $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + e \quad E = - 0,60 \text{ V}$

Como interesa el  $E$  del Electrodo Indicador de Platino frente al Electrodo de Referencia, se tiene en cuenta la celda:

$\text{Pt}, \text{H}_2 (1 \text{ atm}) / \text{H}^+ (a=1 \text{ M}) \parallel \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+} / \text{Pt}$

Reacción:  $\text{Fe}^{3+} + \frac{1}{2}\text{H}_2 \leftrightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{H}^+$

Oxidación, ánodo, (-)  $\frac{1}{2}\text{H}_2 \rightarrow \text{H}^+ + e$

Reducción, cátodo, (+)  $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$

$$E_{\text{total}} = E_{\text{H}_2/\text{H}^+} + E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,00 + 0,60 = 0,60 \text{ V}$$

O sea,  $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$  en el Electrodo Indicador al enfrentarse al Electrodo de Referencia.

Adición de 2 ml del valorante  $\text{Ce}^{4+}$  0,1 M a la muestra:

$[\text{Fe}^{2+}]_{\text{inicial}} = 2,5 \text{ mmoles}$

$[\text{Ce}^{4+}]_{\text{adicionado}} = 0,2 \text{ mmoles} \rightarrow 0,2 \text{ mmoles } \text{Ce}^{3+} \text{ y } 0,2 \text{ mmoles } \text{Fe}^{3+}$

$[\text{Fe}^{3+}]_{\text{que queda}} = 2,3 \text{ mmoles}$

Luego:

$$E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = E^\circ_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} - \frac{0,059}{n} * \log \frac{[\text{Fe}^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}]} = 0,68 - 0,059 * \log (2,3 / 0,2) = 0,62 \text{ V}$$

|                    |          |   |  |
|--------------------|----------|---|--|
| Para la adición de | 5 ml     | de $\text{Ce}^{4+}$ valorante a la muestra es | $E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,64 \text{ V}$ |
| Para la adición de | 10 ml    | de $\text{Ce}^{4+}$ valorante a la muestra es | $E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,67 \text{ V}$ |
| Para la adición de | 15 ml    | de $\text{Ce}^{4+}$ valorante a la muestra es | $E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,69 \text{ V}$ |
| Para la adición de | 20 ml    | de $\text{Ce}^{4+}$ valorante a la muestra es | $E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,72 \text{ V}$ |
| Para la adición de | 24 ml    | de $\text{Ce}^{4+}$ valorante a la muestra es | $E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,76 \text{ V}$ |
| Para la adición de | 24,5 ml  | de $\text{Ce}^{4+}$ valorante a la muestra es | $E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,78 \text{ V}$ |
| Para la adición de | 24,9 ml  | de $\text{Ce}^{4+}$ valorante a la muestra es | $E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,82 \text{ V}$ |
| Para la adición de | 24,99 ml | de $\text{Ce}^{4+}$ valorante a la muestra es | $E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,88 \text{ V}$ |

**EN EL PUNTO DE EQUIVALENCIA TEÓRICO:**

$$E_{\text{PET}} = E^\circ_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} - 0,059 \log ([\text{Fe}^{2+}]/[\text{Fe}^{3+}]) \quad (1) \text{ Recordar que es el } E \text{ del EI frente al ER}$$

Pero también es factible considerar:

$$E_{\text{PET}} = E^{\circ} \text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+} - 0,059 \log ([\text{Ce}^{4+}]/[\text{Ce}^{3+}]) \quad (2)$$

El  $\text{Ce}^{4+} \rightarrow \text{Ce}^{3+}$  ya que oxida al  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$

Reacción de Valoración:  $\text{Fe}^{2+} + \text{Ce}^{4+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{Ce}^{3+}$

2,5 mmoles de  $\text{Fe}^{2+} = 2,5$  mmoles  $\text{Ce}^{4+}$

La K de reacción de valoración es grande, pero  $[\text{Fe}^{2+}]_{\text{sin reaccionar}} = [\text{Ce}^{4+}]_{\text{sin reaccionar}}$  presentes en pequeñísimas cantidades.

Para los productos también es válido:  $[\text{Fe}^{3+}] = [\text{Ce}^{3+}]$ , reemplazando en (2):

$$E_{\text{PET}} = E^{\circ} \text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+} - 0,059 \log ([\text{Fe}^{3+}]/[\text{Fe}^{2+}]) \quad (3)$$

Luego: (1) + (3)  $\rightarrow$

$$2 E_{\text{PET}} = E^{\circ} \text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} + E^{\circ} \text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+} - 0,059 \log ([\text{Fe}^{2+}]/[\text{Fe}^{3+}]) - 0,059 \log ([\text{Fe}^{3+}]/[\text{Fe}^{2+}])$$

$$2 E_{\text{PET}} = E^{\circ} \text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} + E^{\circ} \text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$$

$$E_{\text{PET}} = (E^{\circ} \text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} + E^{\circ} \text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}) / 2$$

Así el E del EI frente al ER en el PET es:  $E_{\text{PET}} = (0,68 + 1,44) / 2 = 1,06 \text{ V}$

Cálculo de la  $[\text{Fe}^{3+}]$  en el PET:

$$E_{\text{PET}} = E^{\circ} \text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} - 0,059 \log ([\text{Fe}^{2+}]/[\text{Fe}^{3+}])$$

$$[\text{Fe}^{2+}]_{\text{original}} = 0,1 \text{ M}$$

$$[\text{Fe}^{3+}]_{\text{PET}} = 0,05 \text{ M (por dilución)}$$

Luego:  $1,06 = 0,68 - 0,059 \log ([\text{Fe}^{2+}]/0,05) \rightarrow [\text{Fe}^{2+}] = 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ M} \rightarrow$  Buena conversión de la reacción

**MÁS ALLÁ DEL PET:**

2,5 mmoles  $\text{Fe}^{2+} + \text{Ce}^{4+} \rightarrow 2,5$  mmoles  $\text{Ce}^{3+}$  (y  $\text{Ce}^{4+}$ ) sin reaccionar, en exceso sobre el PET

Ejemplo: Para la adición de 26 ml de  $\text{Ce}^{4+}$  en total sobre nuestra muestra:

$$[\text{Ce}^{3+}] = 2,5 \text{ mmoles}$$

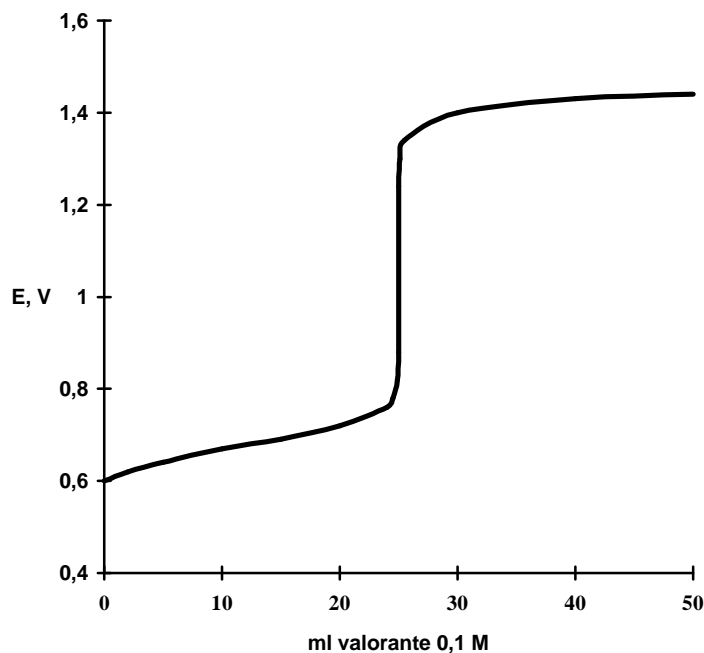
$$[\text{Ce}^{4+}] = 1 \text{ ml} \cdot 0,1 \text{ M} = 0,1 \text{ mmol}$$

Luego:  $E \text{ Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+} = E^{\circ} \text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+} - 0,059 \log ([\text{Ce}^{3+}]/[\text{Ce}^{4+}]) = 1,44 - 0,059 \log (2,5 / 0,1) = 1,36 \text{ V}$

Calculamos  $E_{\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}}$  para las siguientes adiciones de  $\text{Ce}^{4+}$  0,1 M sobre nuestra muestra:

|       |                                     |        |
|-------|-------------------------------------|--------|
| 30 ml | $E_{\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}}$ | 1,40 V |
| 40 ml | $E_{\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}}$ | 1,43 V |
| 50 ml | $E_{\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}}$ | 1,44 V |

CURVA DE TITULACIÓN DE 25 ml de Fe(II) 0,1 M con Ce(IV) 0,1 M en medio  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 N

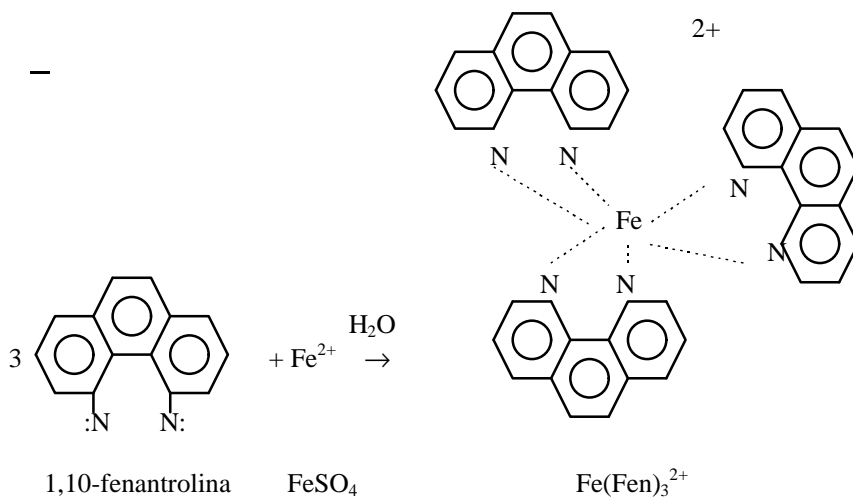


E del PET frente al de Calomel:  $1,06 - 0,24 = 0,82$  V

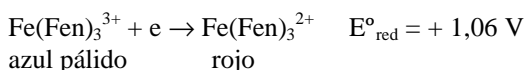
**INDICADORES REDOX:**

Son sustancias que pueden experimentar una reacción redox y cuyas formas oxidada y reducida difieren mutuamente de color.

**1,10-Fenantrolina - Fe(II) ó Ferroína:**



Semirreacción:



Titulación de Fe<sup>2+</sup> vs. Ce<sup>4+</sup> en ácido sulfúrico 1 N

Al comienzo de la valoración el indicador se encuentra en la forma reducida, roja, en el punto final pasa a su forma oxidada, azul, frente al primer exceso de Ce<sup>4+</sup> (amarillo), por lo cual se observa un cambio de color de rojo a verde (por la combinación de azul y amarillo).

Aplicando la teoría de indicadores, en el punto final, tendremos:

$$E_{\text{Fe(Fe)}_3^{3+}/\text{Fe(Fe)}_3^{2+}} = E^\circ_{\text{Fe(Fe)}_3^{3+}/\text{Fe(Fe)}_3^{2+}} - 0,059 * \log \left\{ \frac{[\text{Fe(Fe)}_3^{2+}]}{[\text{Fe(Fe)}_3^{3+}]} \right\}$$
$$= 1,06 - 0,059 * \log (1 / 10) = 1,12 \text{ V}$$

Este potencial, que se observa frente al Electrodo Indicador (respecto del Electrodo Normal de Hidrógeno) en el punto final, frente al E<sub>PET</sub> = 1,06 V brinda un error ínfimo.

VALORACIÓN INVERSA: Ce<sup>4+</sup> vs. Fe<sup>2+</sup>

El indicador se encontrará en su forma oxidada al comienzo de la reacción, azul, por lo que pasará a la forma reducida, roja. El E del Electrodo Indicador en el PF será:

$$E_{\text{Fe(Fe)}_3^{3+}/\text{Fe(Fe)}_3^{2+}} = E^\circ_{\text{Fe(Fe)}_3^{3+}/\text{Fe(Fe)}_3^{2+}} - 0,059 * \log \left\{ \frac{[\text{Fe(Fe)}_3^{2+}]}{[\text{Fe(Fe)}_3^{3+}]} \right\}$$
$$= 1,06 - 0,059 * \log (10) = 1 \text{ V}$$

**INDICADORES REDOX FLUORESCENTES:**

*Nitrato de tris (2,2'-bipiridina) - Rutenio (II)*, red. amarillo

*Nitrato de tris (2,2'-bipiridina) - Rutenio (III)*, ox. azul pálido

E° = 1,25 V

Viraje no muy nítido

En la oscuridad (forma red.) da fluorescencia rojo naranja brillante (a la luz ultravioleta)  
(forma ox.) no fluoresce

Así, el PF se observa por súbita desaparición de la fluorescencia.

El efecto es reversible, aplicable entonces a valoraciones inversas.

Otro ejemplo es el *Osmio (II)*:

Los ligandos orgánicos con cationes se convierten en indicadores redox fluorescentes.

2,2' - bipiridina

4,4'-dimetil-2,2'-bipiridina

5,6-dimetil-1,10-fenantrolina

2,2'-biquinolina

*Tris (4,4'-dimetil-2,2'-bipiridina) - Rutenio (II)* : fluorescencia rojonaranja

*Tris (5,6-dimetil-1,10-fenantrolina) - Rutenio (II)* : fluorescencia anaranjada

*Diciano-bis-(5,6-dimetil-1,10-fenantrolina) - Osmio (II)* : fluorescencia verde  
*Tris (2,2'-biquinolona) - Rutenio (II)* : fluorescencia verde intensa

Complejos forma oxidada - Rutenio (III) y Osmio (III) : no fluorescen.

**FACTIBILIDAD:**

**0,60 V** ( Potencial 0,1 % antes del PET)

99,9 % Volumen teórico de  $Ce^{4+}$  :  $[Ce^{3+}]/[Ce^{4+}] = 1/1000$

$$E_{ox,red} = E^{\circ}_{ox,red} - 0,059 * \log ([Red]/[Ox]) = 0,60 - 0,059 * \log (1/1000) = \mathbf{0,78 \text{ V}}$$

100,1 % Volumen teórico de  $Ce^{4+}$  :  $[Ce^{3+}]/[Ce^{4+}] = 1000/1$

$$E_{Ce^{4+}/Ce^{3+}} = E^{\circ}_{Ce^{4+}/Ce^{3+}} - 0,059 * \log ([Ce^{3+}]/[Ce^{4+}]) = 1,44 - 0,059 * \log (1000) = \mathbf{1,26 \text{ V}}$$

Para 1 e  $\rightarrow$  viraje  $\equiv$  0,12 V

***ELECCIÓN DE LOS INDICADORES:***

Para nuestro caso: Forma reducida: 0,78 V (0,1 % antes del PET)  
 Forma oxidada: 0,78 + 0,12 V = 0,90 V

Su potencial será:  $(0,78 + 0,90)/2 = 0,84 \text{ V}$

Forma reducida: 1,26 - 0,12 = 1,14 V (0,1 % luego del PET)  
 Forma oxidada: 1,26 V

Su potencial será:  $(1,26 + 1,14)/2 = 1,20 \text{ V}$

El **PET** se encuentra en:  $(0,78 + 1,26) / 2 = \mathbf{1,02 \text{ V}}$

Son adecuados: *Metilferroína* ( $E = 1,02 \text{ V}$ ) y *Ferroína* ( $E = 1,06 \text{ V}$ )

**0,80 V** ( Potencial 0,1 % antes del PET)

99,9 % Volumen teórico de  $Ce^{4+}$  :  $[Ce^{3+}]/[Ce^{4+}] = 1/1000$

$$E_{ox,red} = E^{\circ}_{ox,red} - 0,059 * \log ([Red]/[Ox]) = 0,80 - 0,059 * \log (1/1000) = \mathbf{0,98 \text{ V}}$$

100,1 % Volumen teórico de  $Ce^{4+}$  :  $[Ce^{3+}]/[Ce^{4+}] = 1000/1$

$$E_{Ce^{4+}/Ce^{3+}} = E^{\circ}_{Ce^{4+}/Ce^{3+}} - 0,059 * \log ([Ce^{3+}]/[Ce^{4+}]) = 1,44 - 0,059 * \log (1000) = \mathbf{1,26 \text{ V}}$$

***ELECCIÓN DE LOS INDICADORES:***

Para nuestro caso: Forma reducida: 0,98 V (0,1 % antes del PET)  
 Forma oxidada: 0,98 + 0,12 V = 1,10 V

Su potencial será:  $(0,98 + 1,10)/2 = 1,04 \text{ V}$

Forma reducida:  $1,26 - 0,12 = 1,14 \text{ V}$  (0,1 % luego del PET)

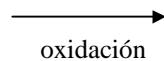
Forma oxidada: 1,26 V

Su potencial será:  $(1,26 + 1,14)/2 = 1,20 \text{ V}$

El **PET** se encuentra en:  $(0,98 + 1,26) / 2 = \mathbf{1,12 \text{ V}}$

### 1 V:

E% usando ferroína:  $E^\circ = 1,06 \text{ V}$  (rojo a azul) vira a 1,12 V



$E^\circ_{\text{PET}} = 1,22 \text{ V}$

Luego:  $E_{\text{ox,red}} = E^\circ_{\text{ox,red}} - 0,059 * \log ([\text{Red}]/[\text{Ox}])$

$$1,12 \text{ V} = \textcircled{1} - 0,059 * \log ([\text{Red}]/[\text{Ox}])$$

necesarios para virar      caso considerado

Luego:  $\log ([\text{Red}]/[\text{Ox}]) = - (1,12 - 1)/0,059 = - 2,03 \text{ V}$

$$[\text{Red}]/[\text{Ox}] = 9,3 * 10^{-3} = 93/10000 \cong 0,93/100$$

0,93 % de reductor queda sin oxidarse

EN EL PET: ( $E_{\text{ox,red}} = 1,22 \text{ V}$ )

$$1,22 \text{ V} = 1 - 0,059 * \log ([\text{Red}]/[\text{Ox}]) \rightarrow \log ([\text{Red}]/[\text{Ox}]) = - (1,22 - 1)/0,059 = - 3,73 \text{ V}$$

$[\text{Red}]/[\text{Ox}] = 1,9 * 10^{-4} \cong 1,9 / 10000 \cong 0,19/100 \rightarrow$  en el PET queda 0,019 % de reductor sin oxidar

*Error de valoración* =  $0,93 - 0,019 = 0,911 \%$

E% usando nitroferroína en esta valoración:

$E^\circ_{\text{ind}} = 1,25 \text{ V}$ , rojo a azul, PF

La forma oxidada se percibe a 1,31 V  $\rightarrow$  0,06 V más que el indicado para el indicador

Pero E del PF es 0,9 V mayor que el E del PE  $\rightarrow$  Error positivo

Cálculo del error:

$[\text{Ce}^{4+}]/[\text{Ce}^{3+}]$  en el PET es:

$$E_{\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}} = E^\circ_{\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}} - 0,059 * \log ([\text{Ce}^{3+}]/[\text{Ce}^{4+}])$$

$$1,22 \text{ V} = 1,44 - 0,059 * \log ([\text{Ce}^{3+}]/[\text{Ce}^{4+}])$$



El salto de FEM es proporcional a la diferencia entre el  $E^\circ \text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$  y el  $E^\circ$  de la sustancia que se valora. El tamaño y nitidez de la porción vertical de la curva gobiernan la exactitud y la precisión con las cuales podrá localizarse el pie y por ende gobiernan la factibilidad de la propia valoración.

En general una valoración redox puede efectuarse con éxito si la diferencia entre los potenciales normales de los sistemas valorante y valorado es de 0,20 V ó más.

Entre 0,20 V y 0,40 V se recomienda seguir la valoración por técnicas de medición potenciométricas. Cuando la diferencia es mayor de 0,40 V, el uso de indicadores da buenos resultados.

**TABLA DE INDICADORES REDOX**

| <i>INDICADOR</i>  | <i>FORMA REDUCIDA</i> | <i>FORMA OXIDADA</i> | <i>E° , V</i> |
|---|-----------------------|----------------------|---------------|
| Índigo, monosulfato   | incoloro              | azul                 | 0,26          |
| Azul de metileno  | incoloro              | azul                 | 0,36          |
| Ácido 1-naftol-2-sulfónico indofenol                            | incoloro              | rojo                 | 0,54          |
| Difenilamina  | incoloro              | violeta              | 0,76          |
| Difenilbencidina  | incoloro              | violeta              | 0,76          |
| Difenilamina, sulfonato bórico                                  | incoloro              | violeta rojizo       | 0,84          |
| Difenilbencidina, sulfonato sódico                              | incoloro              | violeta              | 0,87          |
| Sulfato de tris (5-metil-1,10-fenantrolina)Fe(II)               | rojo                  | azul pálido          | 0,97          |
| Erioglaucina A  | verde                 | rojo                 | 1,00          |
| Sulfato de tris(5-metil-1,10-fenantrolina)Fe(II), metilferroína | rojo                  | azul pálido          | 1,02          |
| Sulfato de tris(5-nitro-1,10-fenantrolina)Fe(II), ferroína      | rojo                  | azul pálido          | 1,06          |
| Ácido N-fenilntranílico   | incoloro              | rosa                 | 1,08          |
| Sulfato de tris(5-nitro-1,10-fenantrolina)Fe(II), nitroferroína | rojo                  | azul pálido          | 1,25          |
| Nitrato de tris(2,2'-bipiridina) Rutenio(II)                    | amarillo              | azul                 | 1,25          |