

UNIDAD 7: EQUILIBRIO QUÍMICO

Comisión No.: 174

Turno de laboratorio: L8

Integrantes: Leandro Carreira, Christopher Mendoza

7.A: ¿Qué factores afectan el equilibrio?

OBJETIVOS

- Observar e interpretar cualitativamente el efecto de distintos factores en el estado de equilibrio.

7.B: ¿Cómo se obtiene una constante de equilibrio?

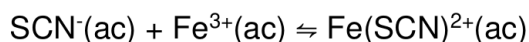
OBJETIVOS

- Determinar la absorptividad molar del monotiocianato férrico ($\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$).
- Obtener las concentraciones de reactivos y productos en el equilibrio para la reacción de formación del $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$.
- Determinar la constante de equilibrio de la reacción de formación del $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$.

INTRODUCCIÓN

Dada una reacción química, al observar las variables termodinámicas de los productos, estas después de un tiempo permanecen constantes, aún cuando no se haya consumido la totalidad de los reactivos. Lo que sucede entonces no es que la reacción ya no ocurra, sino que en este punto la reacción inversa (de productos a reactivos) ocurre en la misma proporción, a la misma velocidad.

Se puede determinar la constante de equilibrio de la reacción de formación de ion complejo monotiocianato férrico ($\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$), a partir del ion tiocianato (SCN^-) e ion férrico (Fe^{3+}) descrita mediante la reacción:



El complejo $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}(\text{ac})$ es coloreado por lo que su concentración se puede determinar mediante la espectrofotometría. Conociendo las concentraciones iniciales de los iones tiocianato y férrico, y dado el vínculo estequiométrico con el ion complejo, se puede calcular sus concentraciones en equilibrio. Luego, se puede calcular la constante de equilibrio K_{eq} utilizando dichas concentraciones. Las proporciones de reactivos y productos están dadas por la constante de equilibrio K_{eq} , cuyo valor verifica:

$$K_{eq} = \frac{[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]_{eq}}{[\text{Fe}^{3+}]_{eq} \cdot [\text{SCN}^-]_{eq}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

CONDICIONES EXPERIMENTALES Y MATERIALES

I. Determinación del coeficiente de absortividad molar del monotiocianato férrico ($\epsilon^{\text{Fe(SCN)}}$).

A. Condiciones Experimentales:

Se prepararon soluciones con distintos volúmenes de KSCN $2 \cdot 10^{-4}$ M y $\text{Fe(NO}_3)_3$ 0,2 M en tubos de ensayo utilizando pipetas aforadas. Se midió el espectro de absorción del complejo Fe(SCN)^{2+} utilizando las soluciones anteriores y se halló una longitud de onda a la que se produjo el máximo de absorción. Por último, se realizó un gráfico A_{max} vs. $[\text{Fe(SCN)}^{2+}]$; para obtener el valor de $\epsilon^{\text{Fe(SCN)}}$ a partir de la pendiente de un ajuste lineal.

B. Condiciones Instrumentales:

Magnitud medida	Absorbancia $[\text{Fe(SCN)}^{2+}]$
λ (nm)	465
Camino óptico, l (cm)	1
Blanco empleado	0,2 M de $\text{Fe(NO}_3)_3$ en HClO_4 0,5 M

II. Determinación de la constante de equilibrio de formación de monotiocianato férrico.

A. Condiciones Experimentales:

Se prepararon soluciones con distintos volúmenes de KSCN 0,002 M y $\text{Fe(NO}_3)_3$ 0,002 M en tubos de ensayo utilizando pipetas aforadas. Se midió el espectro de absorción de las soluciones anteriores para obtener $[\text{Fe(SCN)}^{2+}]$ utilizando el $\epsilon^{\text{Fe(SCN)}}$ hallado en la parte I. Con los valores de $[\text{Fe(SCN)}^{2+}]$ se obtuvo las concentraciones de los reactivos en equilibrio $[\text{SCN}^-]$ y $[\text{Fe}^{3+}]$. Por último, se realizó un gráfico $[\text{Fe(SCN)}^{2+}]_{\text{equilibrio}}$ vs. $[\text{Fe}^{3+}]_{\text{equilibrio}} \times [\text{SCN}^-]_{\text{equilibrio}}$ para obtener el valor de K_{eq} a partir de la pendiente de un ajuste lineal.

B. Condiciones Instrumentales:

Magnitud medida	Absorbancia $[\text{Fe(SCN)}^{2+}]$
λ (nm)	465
Camino óptico, l (cm)	1
Blanco empleado	$\text{Fe(NO}_3)_3$ 0,002 M

RESULTADOS

I. Determinación del coeficiente de absortividad molar del monotiocianato férrico ($\epsilon^{\text{Fe(SCN)}}$).

Dado que la concentración de $\text{Fe(NO}_3)_3$ es mucho mayor que la de KSCN , el ion Fe^{3+} se encuentra en exceso respecto del SCN^- , por lo que es posible aproximar la concentración de producto asumiendo que todo el SCN^- participa en la formación de Fe(SCN)^{2+} . Nuestras muestras en el espectrofotómetro utilizado presentaron su mayor absorbancia a los 465 nm de longitud de onda.

Volumen de KSCN 2.10^{-4} M	Volumen de $\text{Fe(NO}_3)_3$ 0,2 M	$[\text{Fe(SCN)}^{2+}] \text{ (M)}$	Absorbancia a 465 nm
1 mL	10 mL	$1.818 \times 10^{-5} \text{ M}$	0.07305
1 mL	5 mL	$3.333 \times 10^{-5} \text{ M}$	0.1293
2 mL	5 mL	$5.714 \times 10^{-5} \text{ M}$	0.21953
5 mL	10 mL	$6.667 \times 10^{-5} \text{ M}$	0.25603
5 mL	5 mL	$1 \times 10^{-4} \text{ M}$	0.38331

Tabla 1: Volúmenes de las soluciones de KSCN 2.10^{-4} M y de $\text{Fe(NO}_3)_3$ 0,2 M, concentración calculada de Fe(SCN)^{2+} y absorbancia de la solución

En el espectrofotómetro utilizado el paso óptico "l" que debe atravesar la luz es de 1 cm, por lo que al graficar la absorbancia a 465 nm en función de la concentración de Fe(SCN)^{2+} y realizar un ajuste lineal, la pendiente de la recta es $\epsilon^{\text{Fe(SCN)}}$, lo que da un valor experimental para la misma de $3795 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$. Luego, se calculó $\epsilon^{\text{Fe(SCN)}}$ gráfico usando los primeros valores del gráfico y dió $3713 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$. Se hizo un promedio de ambos valores dando $3754 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ y esta será la utilizada para toda la experiencia.

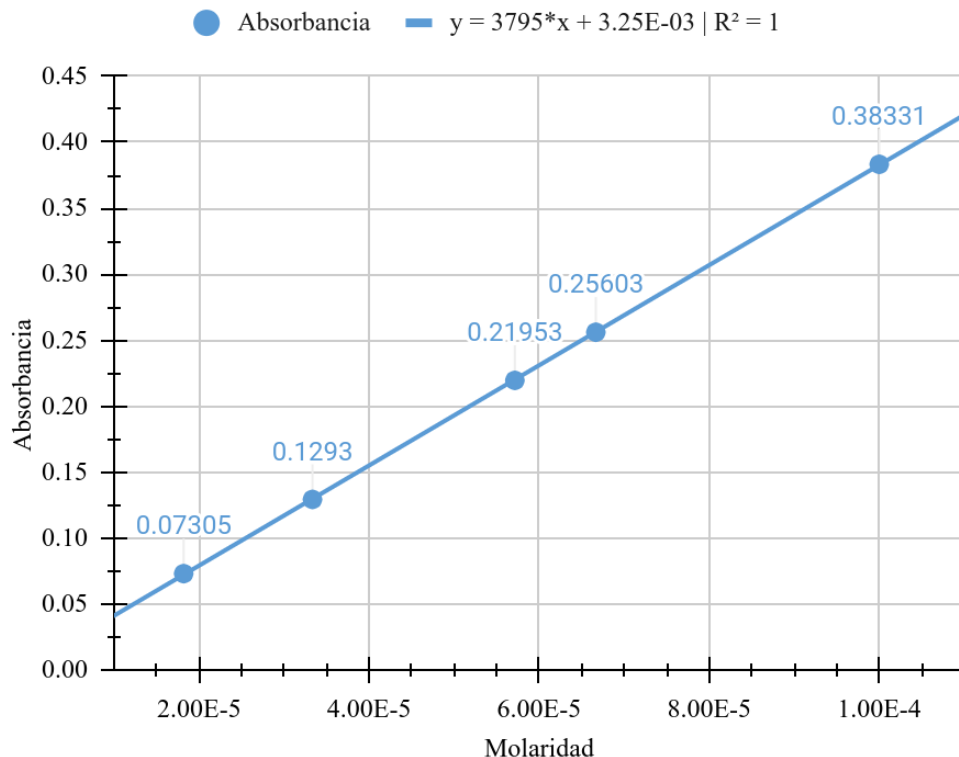


Figura 1: Absorbancia medida sobre cada una de las muestras con respecto a 465nm de longitud de onda

II. Determinación de la constante de equilibrio de formación de monotiocianato férrico.

Se calcularon las concentraciones iniciales de cada especie según cada solución

SC	Volumen de KSCN 0,002 M	Volumen de Fe(NO ₃) ₃ 0,002 M	[SCN] ⁻ _{inicial} (M)	[Fe ³⁺] _{inicial} (M)
1	1 mL	10 mL	1.818×10^{-4}	1.818×10^{-3}
2	1 mL	5 mL	3.333×10^{-4}	1.667×10^{-3}
3	2 mL	5 mL	5.714×10^{-4}	1.429×10^{-3}
4	5 mL	5 mL	1×10^{-3}	1×10^{-3}
5	5 mL	2 mL	1.429×10^{-3}	5.714×10^{-4}
6	5 mL	1 mL	1.667×10^{-3}	3.333×10^{-4}
7	10 mL	1 mL	1.818×10^{-3}	1.818×10^{-4}

Tabla 2: Volúmenes de las soluciones de KSCN y de Fe(NO₃)₃ 0,002 M y concentraciones iniciales.

Conociendo los volúmenes y concentraciones de las soluciones iniciales es posible calcular las concentraciones iniciales de reactivos. Conocido el valor de $\epsilon_{\text{Fe(SCN)}}^{2+}$ se calcula $[\text{Fe(SCN)}^{2+}]_{\text{eq}}$ a partir de la absorbancia en el máximo ($\lambda=465 \text{ nm}$) y dada la estequiometría de la reacción las concentraciones de reactivos en el equilibrio cumplen:

$$[\text{SCN}^{-}]_{\text{inicial}} - [\text{Fe(SCN)}^{2+}] = [\text{SCN}^{-}]_{\text{eq}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$[\text{Fe}^{3+}]_{\text{inicial}} - [\text{Fe(SCN)}^{2+}] = [\text{Fe}^{3+}]_{\text{eq}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

SC	Volumen de KSCN 0,002 M	Volumen de Fe(NO ₃) ₃ 0,002 M	Abs a 465 nm	[Fe(SCN) ²⁺] _{eq} (M)	[SCN] ⁻ _{eq} (M)	[Fe ³⁺] _{eq} (M)	$\frac{[\text{SCN}^{-}]_{\text{eq}}}{[\text{Fe}^{3+}]_{\text{eq}}} \text{ (M}^2\text{)}$
1	1 mL	10 mL	0.17088	4.552×10^{-5}	1.363×10^{-4}	1.772×10^{-3}	2.415×10^{-7}
2	1 mL	5 mL	0.20885	5.556×10^{-5}	2.777×10^{-4}	1.611×10^{-3}	4.474×10^{-7}
3	2 mL	5 mL	0.33758	8.899×10^{-5}	4.824×10^{-4}	1.340×10^{-3}	6.464×10^{-7}
4	5 mL	5 mL	0.48131	1.282×10^{-4}	8.718×10^{-4}	8.718×10^{-4}	7.600×10^{-7}
5	5 mL	2 mL	0.40651	1.083×10^{-4}	1.321×10^{-3}	4.631×10^{-4}	6.118×10^{-7}
6	5 mL	1 mL	0.31574	8.411×10^{-5}	1.583×10^{-3}	2.492×10^{-4}	3.944×10^{-7}
7	10 mL	1 mL	0.19822	5.280×10^{-5}	1.765×10^{-3}	1.290×10^{-4}	2.277×10^{-7}

Tabla 3: Volúmenes de las soluciones de KSCN y Fe(NO₃)₃ 0,002 M, absorbancia de la solución y concentraciones en equilibrio de reactivos y productos.

Dada la (Ecuación 1) para la constante de equilibrio, al graficar $[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]_{\text{eq}}$ vs $([\text{Fe}^{3+}]_{\text{eq}} \times [\text{SCN}^{-}]_{\text{eq}})$ y realizar un ajuste lineal, concluimos que la pendiente de esta recta es K_{eq} :

$$K_{\text{eq}} ([\text{Fe}^{3+}] \cdot [\text{SCN}^{-}]) = [\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}] \quad (\text{Ecuación 4})$$

El valor de K_{eq} obtenido experimentalmente es de 136 M^{-1} , mientras que el bibliográfico² varía entre $160\text{-}180 \text{ M}^{-1}$.

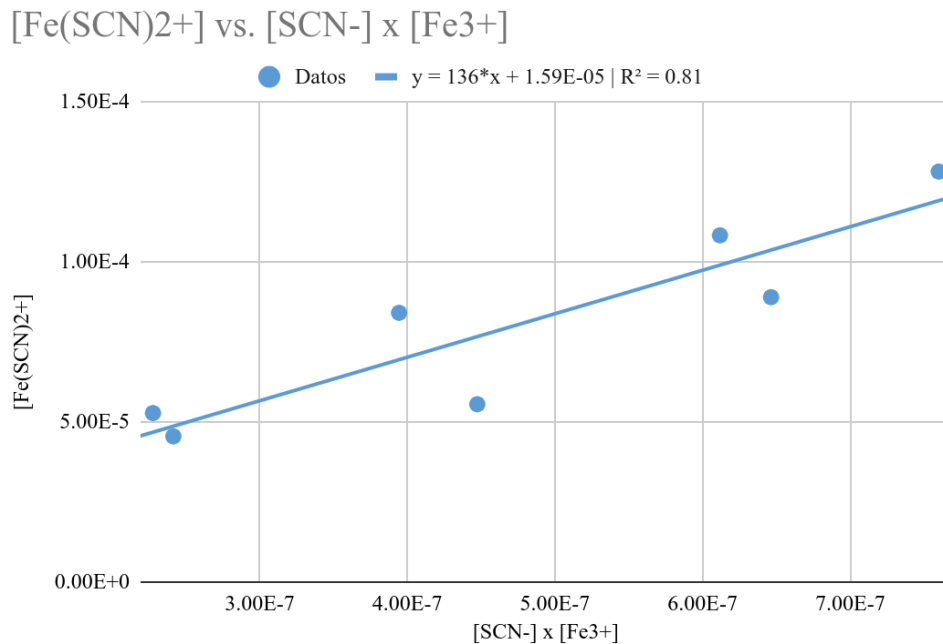


Figura 2: Ajuste lineal sobre valores obtenidos de $[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]_{\text{equilibrio}}$ vs. $[\text{Fe}^{3+}]_{\text{equilibrio}} \times [\text{SCN}^{-}]_{\text{equilibrio}}$

CONCLUSIONES

En conclusión, se lograron los objetivos planteados exitosamente dando una K_{eq} para la reacción cercana a la bibliográfica. Se ha podido observar cualitativamente que la dirección de una reacción hacia un estado de equilibrio depende de las concentraciones iniciales de reactivos y productos siempre y cuando la temperatura no haya cambiado.

BIBLIOGRAFIA

1. Guía de trabajos prácticos Química Inorgánica I: Unidad 6 Equilibrio de fases
2. https://www.mctcteach.org/chemistry/C1152/Laboratory/Lab_Protocols/Det_of_Equil_Const_v.1.16.pdf

APENDICE

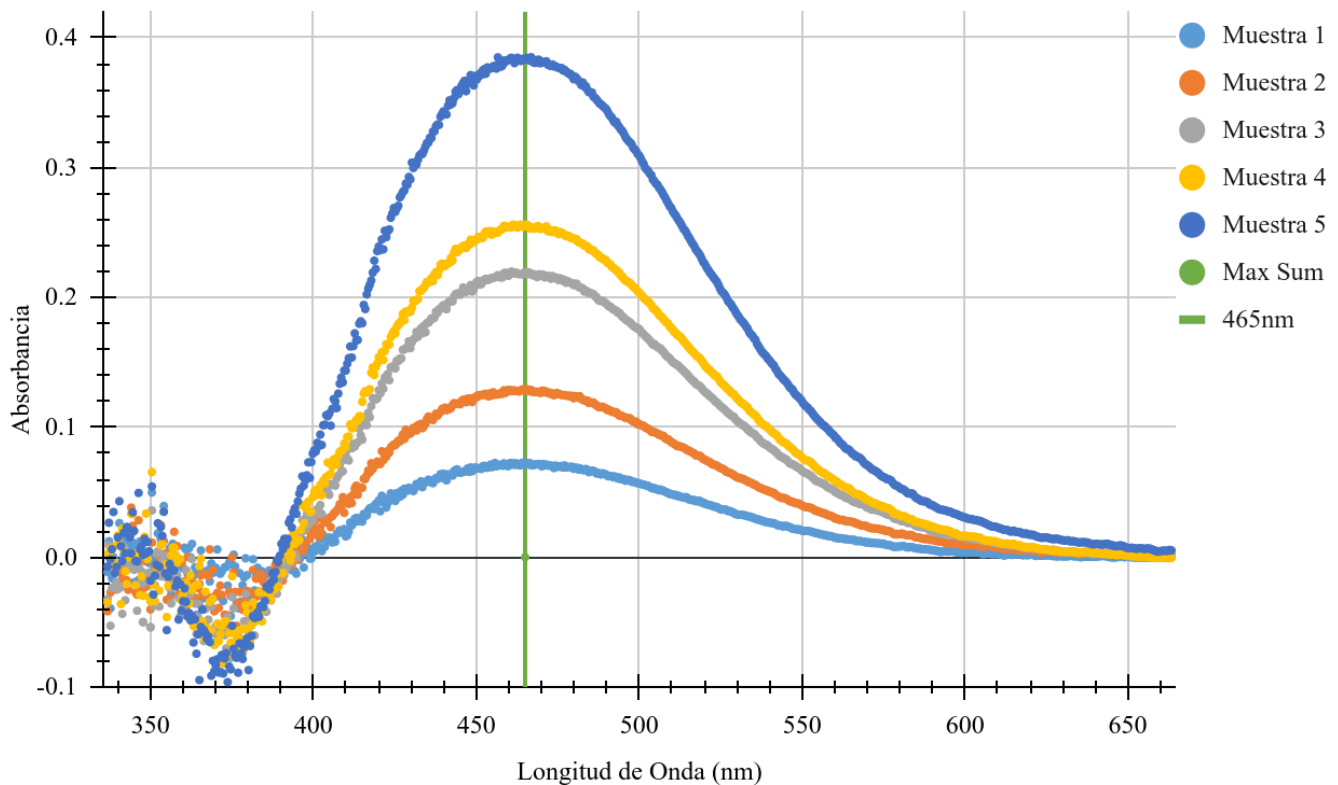


Figura 3: Curvas de absorbancia para cada una de las muestras ordenadas de menor a mayor concentración. La línea vertical “Max Sum” en 465nm muestra la longitud de onda obtenida a partir de la suma de todas las curvas de absorbancia.

Máximo de suma de todas las muestras

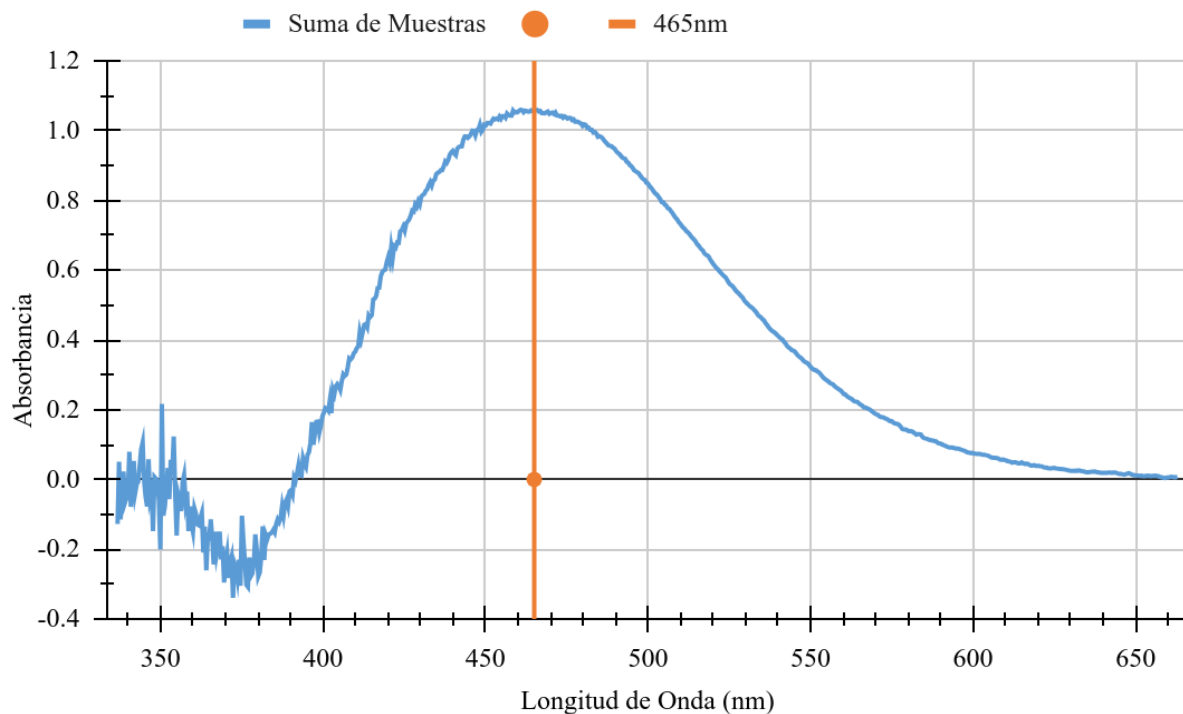


Figura 4: Curva de suma de absorbancias usada para determinar Max Sum en Figura 3.

Cálculo de las concentraciones de $[\text{Fe}(\text{SCN})_2^{+}]$ para obtener la absorbancia molar

- Solución 1:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-4} \text{ mol. } 1 \text{ ml} = C_f \cdot 11 \text{ ml}$

$$C_f = 1.818 \times 10^{-5} \text{ M}$$

- Solución 2:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-4} \text{ mol. } 1 \text{ ml} = C_f \cdot 6 \text{ ml}$

$$C_f = 3.333 \times 10^{-5} \text{ M}$$

- Solución 3:** $C_i V_i = C_f V_f$ $4 \times 10^{-4} \text{ mol. } 2 \text{ ml} = C_f \cdot 7 \text{ ml}$

$$C_f = 5.714 \times 10^{-5} \text{ M}$$

- Solución 4:** $C_i V_i = C_f V_f$ $1 \times 10^{-3} \text{ mol. } 5 \text{ ml} = C_f \cdot 15 \text{ ml}$

$$C_f = 6.667 \times 10^{-5} \text{ M}$$

- Solución 5:** $C_i V_i = C_f V_f$ $1 \times 10^{-3} \text{ mol. } 5 \text{ ml} = C_f \cdot 10 \text{ ml}$

$$C_f = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$$

Cálculo $\epsilon^{\text{Fe}(\text{SCN})}$ (experimental gráfico)

- $m = \frac{0.1293 - 0.07305}{3.333 \times 10^{-5} - 1.818 \times 10^{-5}} = 3754$

Cálculo de las concentraciones de $[\text{SCN}^-]_{\text{inicial}}$

- Solución 1:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-3} \text{ mol. } 1 \text{ ml} = C_f \cdot 11 \text{ ml}$

$$C_f = 1.818 \times 10^{-4} \text{ M}$$

- Solución 2:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-3} \text{ mol. } 1 \text{ ml} = C_f \cdot 6 \text{ ml}$

$$C_f = 3.333 \times 10^{-4} \text{ M}$$

- Solución 3:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-3} \text{ mol. } 2 \text{ ml} = C_f \cdot 7 \text{ ml}$

$$C_f = 5.714 \times 10^{-4} \text{ M}$$

- Solución 4:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-3} \text{ mol. } 5 \text{ ml} = C_f \cdot 10 \text{ ml}$

$$C_f = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$$

- **Solución 5:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot 5 \text{ ml} = C_f \cdot 7 \text{ ml}$
 $C_f = 1.42 \times 10^{-3} \text{ M}$
- **Solución 6:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot 5 \text{ ml} = C_f \cdot 6 \text{ ml}$
 $C_f = 1.667 \times 10^{-3} \text{ M}$
- **Solución 7:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot 10 \text{ ml} = C_f \cdot 11 \text{ ml}$
 $C_f = 1.818 \times 10^{-3} \text{ M}$

Cálculo de las concentraciones de $[\text{Fe}^{3+}]_{\text{inicial}}$

- **Solución 1:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot 10 \text{ ml} = C_f \cdot 11 \text{ ml}$
 $C_f = 1.818 \times 10^{-3} \text{ M}$
- **Solución 2:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot 5 \text{ ml} = C_f \cdot 6 \text{ ml}$
 $C_f = 1.667 \times 10^{-3} \text{ M}$
- **Solución 3:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot 5 \text{ ml} = C_f \cdot 7 \text{ ml}$
 $C_f = 1.429 \times 10^{-3} \text{ M}$
- **Solución 4:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot 5 \text{ ml} = C_f \cdot 10 \text{ ml}$
 $C_f = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$
- **Solución 5:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot 2 \text{ ml} = C_f \cdot 7 \text{ ml}$
 $C_f = 5.714 \times 10^{-4} \text{ M}$
- **Solución 6:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot 1 \text{ ml} = C_f \cdot 6 \text{ ml}$
 $C_f = 3.333 \times 10^{-4} \text{ M}$
- **Solución 7:** $C_i V_i = C_f V_f$ $2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot 1 \text{ ml} = C_f \cdot 11 \text{ ml}$
 $C_f = 1.818 \times 10^{-4} \text{ M}$

Cálculo de las concentraciones de $[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]$

- **Solución 1:** $A = \varepsilon \cdot l \cdot C$ $0.17088 = 3754 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1} \cdot 1 \text{ cm} \cdot C$
 $C = 4.552 \times 10^{-5} \text{ M}$
- **Solución 2:** $A = \varepsilon \cdot l \cdot C$ $0.20885 = 3754 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1} \cdot 1 \text{ cm} \cdot C$
 $C = 5.556 \times 10^{-5} \text{ M}$
- **Solución 3:** $A = \varepsilon \cdot l \cdot C$ $0.33758 = 3754 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1} \cdot 1 \text{ cm} \cdot C$
 $C = 8.999 \times 10^{-5} \text{ M}$
- **Solución 4:** $A = \varepsilon \cdot l \cdot C$ $0.48131 = 3754 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1} \cdot 1 \text{ cm} \cdot C$
 $C = 1.282 \times 10^{-4} \text{ M}$
- **Solución 5:** $A = \varepsilon \cdot l \cdot C$ $0.40651 = 3754 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1} \cdot 1 \text{ cm} \cdot C$
 $C = 1.083 \times 10^{-4} \text{ M}$
- **Solución 6:** $A = \varepsilon \cdot l \cdot C$ $0.31574 = 3754 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1} \cdot 1 \text{ cm} \cdot C$
 $C = 8.411 \times 10^{-5} \text{ M}$
- **Solución 7:** $A = \varepsilon \cdot l \cdot C$ $0.19822 = 3754 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1} \cdot 1 \text{ cm} \cdot C$
 $C = 5.280 \times 10^{-5} \text{ M}$