

Calorimetría

En los siguientes ejemplos se mezcla cierta cantidad de agua líquida con cierta cantidad de agua solidificada, (hielo), en un recipiente adiabáticos. El objetivo es estimar en cada caso si la temperatura del estado final (estado de equilibrio) estará por arriba del punto de fusión por lo cual el hielo se fundirá, está por debajo del punto de fusión por lo cual el agua líquida se derretirá o si la misma será de 0°C en cuyo caso habrá que analizar que cantidad de materia está en estado sólido y que cantidad de materia en estado líquido. En todos los casos el calor intercambiado total es nulo. Para el análisis nos valdremos del grafico temperatura en función del módulo de calor intercambiado.

Datos: $C_{\text{hielo}}=0,5 \text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$; $L_f= 80 \text{ cal/g}$

Ejemplo 1

En un recipiente adiabático se mezclan 8 kg de agua a -5°C con 12 kg de agua a 20°C . Determine la composición y temperatura de equilibrio despreciando la capacidad calorífica del recipiente.

Sabemos que, $-5^{\circ}\text{C} < T_f < 20^{\circ}\text{C}$

Analizo en $T=0^{\circ}\text{C}$

Llamo Q_1 al Q del agua cuyo estado inicial es hielo y Q_2 al Q del agua que cuyo estado inicial es líquido.

Para llegar a $T=0^{\circ}\text{C}$ sin efectuar ningún cambio de estado resulta

$$Q_1 = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}} 8.000 \text{ g}(0^{\circ}\text{C} - (-5^{\circ}\text{C})) = 20.000 \text{ cal} = 20 \text{ Kcal}$$

$$Q_2 = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}} 12.000 \text{ g}(0^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) = -240.000 \text{ cal} = -240 \text{ Kcal}$$

La cantidad de calor que cede Q_2 es por demás la que requiere Q_1 , por lo que Q_1 empezará a derretirse. ¿Todo?

$$Q_{1f} = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}} 8.000 \text{ g} = 640.000 \text{ cal} = 640 \text{ Kcal}$$

Con lo que puede cederle el agua líquida el hielo empieza a derretirse pero no le alcanza, con lo cual no llegará a derretirse totalmente.

Graficamos T en función del módulo de Q, $|Q|$,

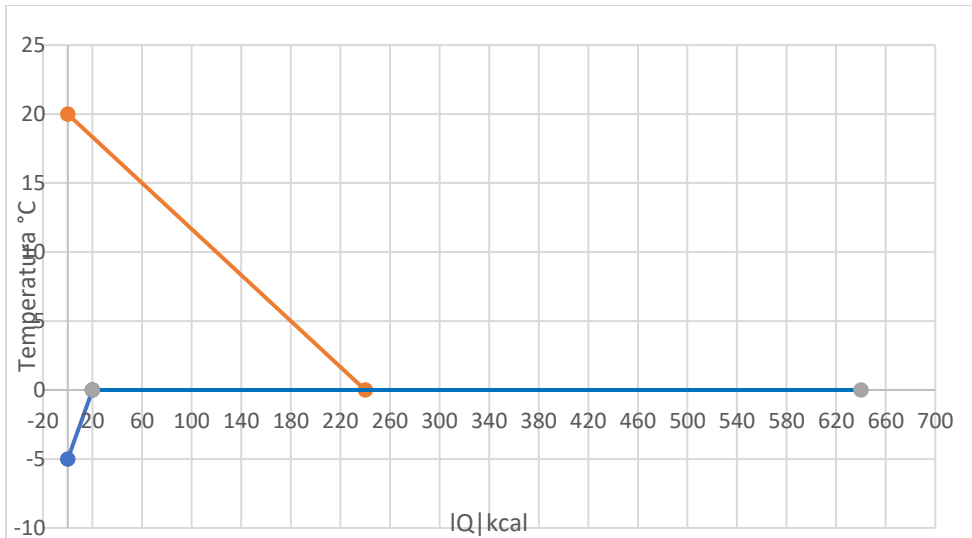


Gráfico 1.1 – Análisis en $T = 0^{\circ}\text{C}$

De las cuentas, pero sobre todo del gráfico 1 podemos ver que la cantidad de calor que cede el agua no alcanza para que el hielo se derrita completamente, si bien empieza a derretirse. La única forma de que ambas fases coexistan es que la $T_f = 0^{\circ}\text{C}$. Veamos cuanta masa de hielo se funde,

$$Q_1 + Q_2 = 20.000 \text{ cal} + 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}} m - 240.000 \text{ cal} = 0$$

$$0 = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}} m - 220.000 \text{ cal}$$

$$m = \frac{220.000 \text{ cal}}{80 \text{ cal/g}} = 2750 \text{ g}$$

Respuesta: la temperatura del equilibrio es de 0°C , la masa de hielo es de 5,25 kg y la de agua líquida es de 14,75 kg.

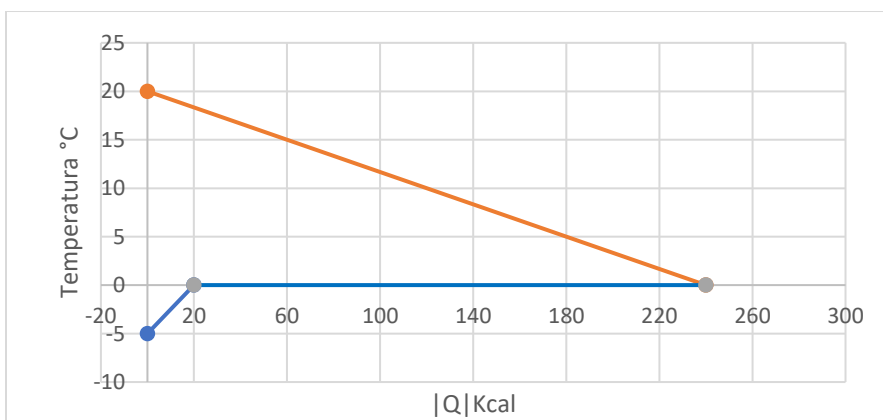


Gráfico 1.2 – $T = 0^{\circ}\text{C}$, $Q_1 + Q_2 = 0$

Ejemplo 2

En una recipiente adiabática se mezclan 8 kg de agua a -5°C , con 1 kg de agua a 20°C . Determine la composición y temperatura de equilibrio.

$$-5^{\circ}\text{C} < T_f < 20^{\circ}\text{C}$$

Análisis en $T=0^{\circ}\text{C}$

Llamo Q_1 al Q del agua cuyo estado inicial es hielo y Q_2 al Q del agua que cuyo estado inicial es líquido.

Para llegar a $T=0^{\circ}\text{C}$ sin efectuar ningún cambio de estado resulta

$$Q_1 = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}} 8.000 \text{ g} (0^{\circ}\text{C} - (-5^{\circ}\text{C})) = 20.000 \text{ cal} = 20 \text{ Kcal}$$

$$Q_2 = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}} 1.000 \text{ g} (0^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) = -20.000 \text{ cal} = -20 \text{ Kcal}$$

Graficamos T en función del módulo de Q, $|Q|$,

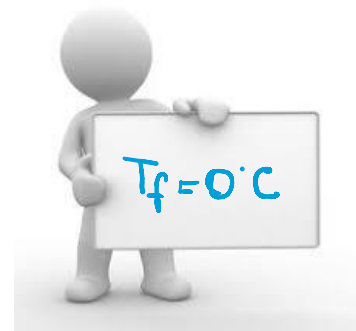
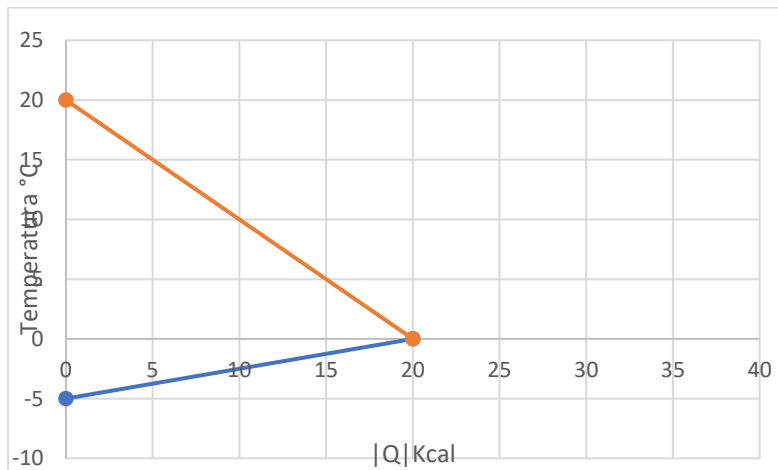


Gráfico 2– Análisis en $T= 0^{\circ}\text{C}$

Los datos indican que la cantidad de calor para llegar a 0°C que requiere absorber el hielo es precisamente la que cede el agua, es decir que la temperatura es del equilibrio es de 0°C y no se producen cambios de estado. Sigo con 8 kg de hielo a 0°C y 1 kg de agua líquida a 0°C .

Respuesta: 8 kg de hielo a 0°C y 1 kg de agua líquida a 0°C , y el grafico es el directamente el grafico 2 donde $Q_1 + Q_2 = 0$.

Ejemplo 3

En una recipiente adiabática se mezclan 2 kg de agua a -5°C , con 12 kg de agua a 20°C . Determine la composición y temperatura de equilibrio.

$$-5^{\circ}\text{C} < T_f < 20^{\circ}\text{C}$$

Analizo en $T=0^{\circ}\text{C}$

Llamo Q_1 al Q del agua cuyo estado inicial es hielo y Q_2 al Q del agua que cuyo estado inicial es líquido.

Para llegar a $T=0^{\circ}\text{C}$ sin efectuar ningún cambio de estado resulta

$$Q_1 = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}} 2.000 \text{ g}(0^{\circ}\text{C} - (-5^{\circ}\text{C})) = 5.000 \text{ cal} = 5 \text{ Kcal}$$

$$Q_2 = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}} 12.000 \text{ g}(0^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) = -240.000 \text{ cal} = -240 \text{ Kcal}$$

La cantidad de calor que cede Q_2 es por demás la que requiere Q_1 , por lo que Q_1 empezará a derretirse. ¿Todo? ¿Cuánto necesita para derretirse todo?

$$Q_{1f} = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}} 2000 \text{ g} = 160.000 \text{ cal} = 160 \text{ Kcal}$$

El calor que cede el agua sigue siendo más de la que requiere el hielo para derretirse completamente. Quiere decir que se derretirá completamente y comenzará a elevar su temperatura.

Como el agua es capaz de ceder más de lo que necesita el hielo para fundiese totalmente, como se aprecia en el grafico 3, la temperatura del equilibrio estará por arriba de los 0°C , ahora la condición es que $0^{\circ}\text{C} < T_f < 20^{\circ}\text{C}$.

Graficamos T en función del módulo de Q, $|Q|$,

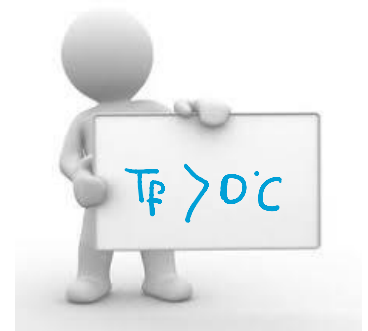
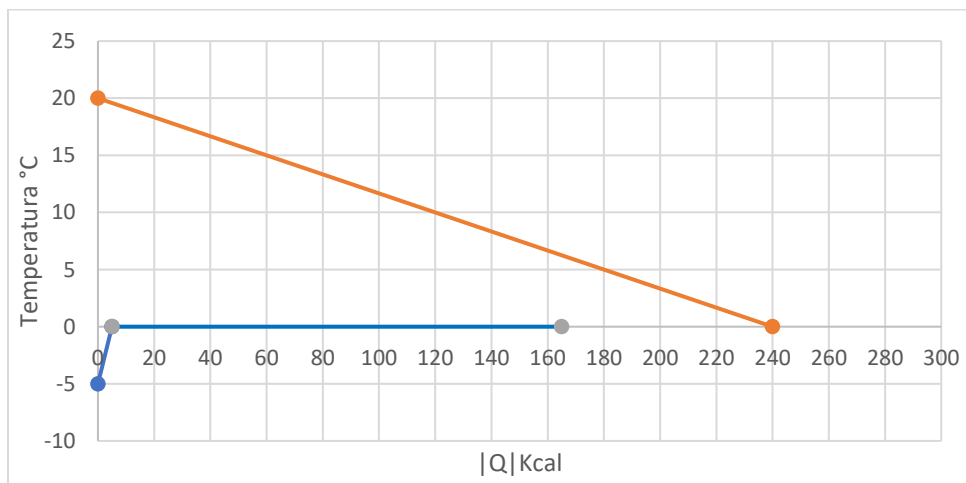


Gráfico 3.1– Análisis en $T=0^{\circ}\text{C}$

$$Q_1 + Q_2 = 5.000 \text{ cal} + 160.000 \text{ cal} + 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} 2.000\text{g}(T_f - 0^\circ\text{C}) + 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} 12.000\text{g}(T_f - 20^\circ\text{C}) = 0$$

$$0 = 165.000 \text{ cal} + 2.000 \frac{\text{cal}}{\text{C}} (T_f) + 12.000\text{g}(T_f) - 240.000 \text{ cal}$$

$$0 = 14.000 \frac{\text{cal}}{\text{C}} (T_f) - 75.000 \text{ cal}$$

$$T_f = \frac{75.000 \text{ cal}}{14.000 \frac{\text{cal}}{\text{C}}} = 5,36^\circ\text{C}$$

Con 14 kg de agua líquida.

Respuesta: 14 kg de agua T= 5,36 °C.

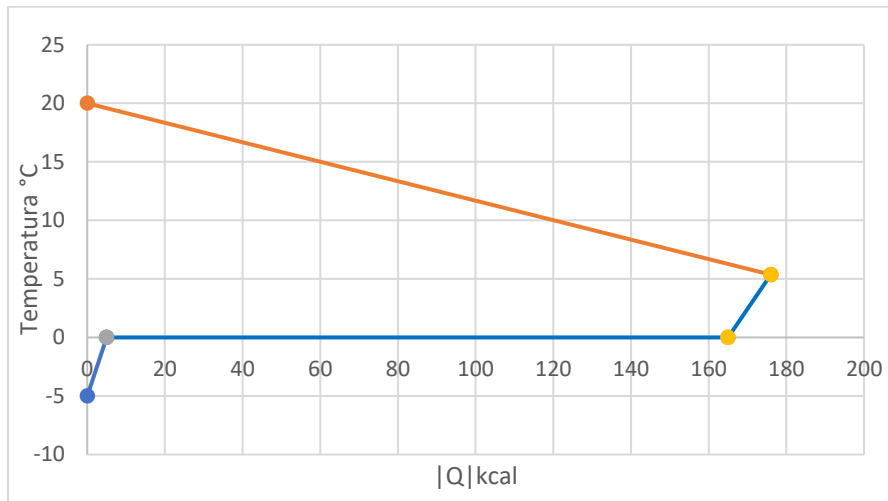


Gráfico 3.2 –T= 5,36°C, $Q_1 + Q_2 = 0$

Ejemplo 4

En una recipiente adiabática se mezclan 40 kg de agua a -10°C , con 2 kg de agua a 20°C . Determine la composición y temperatura de equilibrio.

$$-10^\circ\text{C} < T_f < 20^\circ\text{C}$$

Analizo en $T=0^\circ\text{C}$

Llamo Q_1 al Q del agua cuyo estado inicial es hielo y Q_2 al Q del agua que cuyo estado inicial es líquido.

Para llegar a $T=0^\circ\text{C}$ sin efectuar ningún cambio de estado resulta

$$Q_1 = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} 40.000 \text{ g}(0^\circ\text{C} - (-10^\circ\text{C})) = 200.000 \text{ cal} = 20 \text{ Kcal}$$

$$Q_2 = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} 2.000 \text{ g}(0^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = -40.000 \text{ cal} = -40 \text{ Kcal}$$

La cantidad de calor que requiere absorber Q_1 es más que la que le cede Q_2 , por lo que el agua empezara a congelarse ¿Toda?

$$Q_{2f} = -80 \frac{\text{cal}}{\text{g}} 2000 \text{ g} = -160.000 \text{ cal} = -160 \text{ Kcal}$$

De los datos se deduce que le alcanza justo para congelarse completamente, quiere decir que la $T_f=0^\circ\text{C}$, y toda la materia estará congelada.

Grificamos T en función del módulo de Q, $|Q|$,

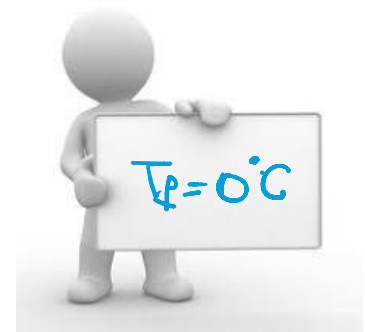
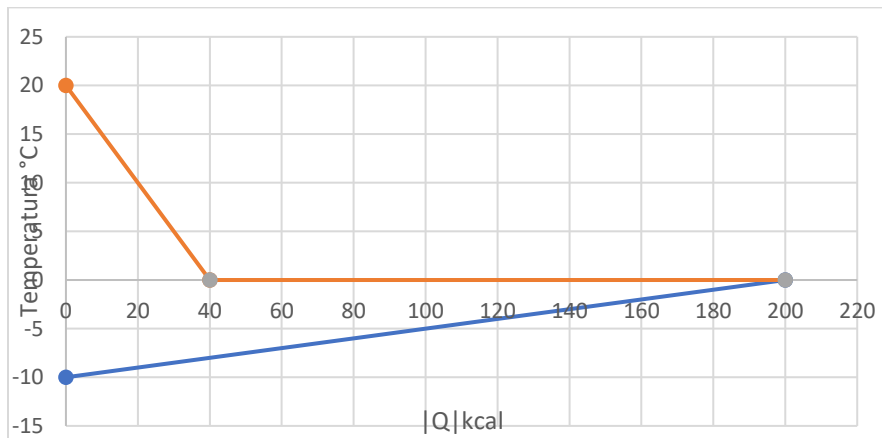


Gráfico 4– Análisis en $T= 0^\circ\text{C}$

Respuesta: La temperatura final, la temperatura alcanzada el equilibrio es de 0°C y el estado será sólido, 42 kg de hielo a 0°C . el grafico es directamente el grafico 4 donde $Q_1 + Q_2 = 0$

Ejemplo 5

En una recipiente adiabática se mezclan 40 kg de agua a -10°C , con 1 kg de agua a 20°C . Determine la composición y temperatura de equilibrio.

$$-10^\circ\text{C} < T_f < 20^\circ\text{C}$$

Analizo en $T=0^\circ\text{C}$

Llamo Q_1 al Q del agua cuyo estado inicial es hielo y Q_2 al Q del agua que cuyo estado inicial es líquido.

Para llegar a $T=0^\circ\text{C}$ sin efectuar ningún cambio de estado resulta

$$Q_1 = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} 40.000 \text{ g}(0^\circ\text{C} - (-10^\circ\text{C})) = 200.000 \text{ cal} = 200 \text{ Kcal}$$

$$Q_2 = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} 1.000 \text{ g}(0^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = -20.000 \text{ cal} = -20 \text{ Kcal}$$

La cantidad de calor que cede Q_2 no es suficiente para que el hielo llegue a 0°C , por lo que el agua líquida comenzara a congelarse ¿Toda? ¿alcanzará?

$$Q_{2f} = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}} 1000 \text{ g} = -80.000 \text{ cal} = -80 \text{ Kcal}$$

Sigue sin alcanzar, quiere decir que el hielo nunca llegara a 0°C , quiere decir que $-10^\circ\text{C} < T_f < 0^\circ\text{C}$. Observemos que esta conclusión se aprecia mucho mejor en el grafico 5.

Graficamos T en función del módulo de Q, $|Q|$,

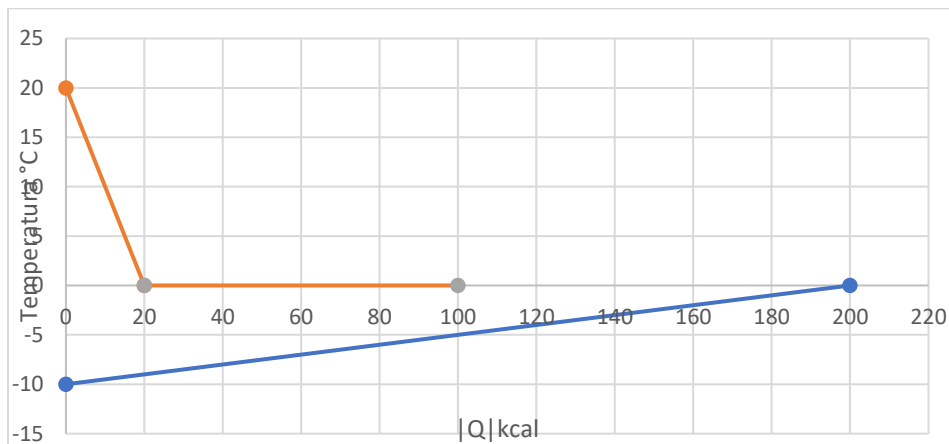


Gráfico 5– Análisis en T= °C

Calculemos la t_f teniendo en cuenta que es por debajo de 0°C

$$Q_1 + Q_2 = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} 40.000 \text{ g}(T_f + 10^\circ\text{C}) + 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} 1.000 \text{ g}(T_f - 0^\circ\text{C}) - 100.000 \text{ cal} = 0$$

$$0 = 20.000 \frac{\text{cal}}{\text{C}} (T_f) + 200.000 \text{ cal} + 500 \frac{\text{cal}}{\text{C}} (T_f) - 100.000 \text{ cal}$$

$$0 = 20.500 \frac{\text{cal}}{\text{C}} (T_f) + 100.000 \text{ cal}$$

$$T_f = -\frac{100.000 \text{ cal}}{20.500 \frac{\text{cal}}{\text{C}}} = -4,9^\circ\text{C}$$

Respuesta: $T_f = -4,9\text{ }^\circ\text{C}$, todo en estado sólido.

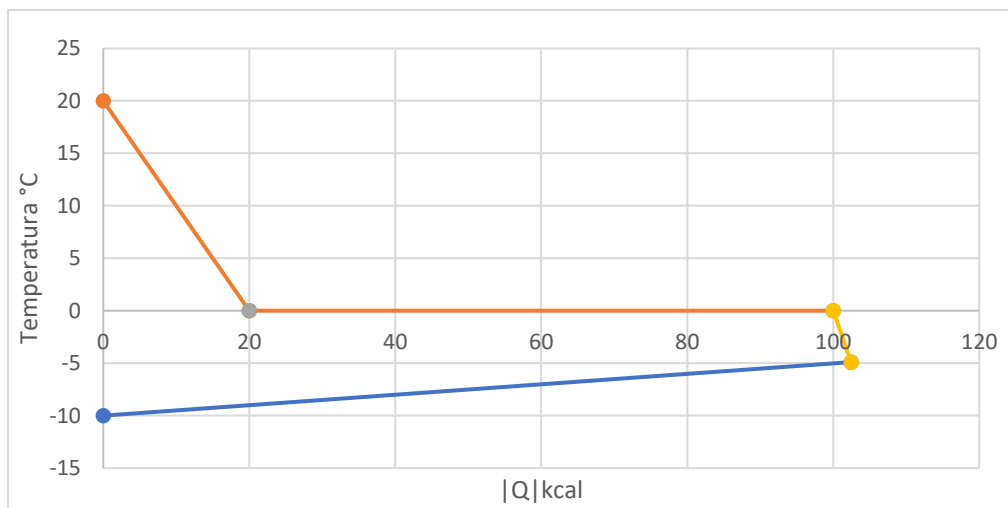


Gráfico 5. 1: $T_f = -4,9\text{ }^\circ\text{C}$ y $Q_1 + Q_2 = 0$