

Densidad y viscosidad

Gonzalo Bastos González

4 de abril de 2023

Índice

1. Objetivos	2
2. Materiales y metodología	2
2.1. Densidad	2
2.2. Viscosidad	5
3. Análisis de datos	7
3.1. Densidad	7
3.1.1. Cálculo del volumen del picnómetro	7
3.1.2. Densidad de la acetona	9
3.1.3. Densidad del alcohol	11
3.1.4. Densidad de un sólido: El plomo	13
3.2. Viscosidad	15
3.2.1. Cálculo de la constante del viscosímetro	15
3.2.2. Viscosidad de la acetona	16
3.2.3. Viscosidad del alcohol	16
4. Conclusión	16

1. Objetivos

Los objetivos de esta práctica son familiarizarnos con los conceptos de densidad y viscosidad de un líquido, además de trabajar con elementos como un picnómetro o un viscosímetro. La primera parte de la práctica abordará el concepto de densidad y se tratará de conocer las densidades de dos líquidos y un sólido a partir de un líquido de densidad conocida, el agua. La segunda parte de la práctica abordará el concepto de viscosidad, que se puede entender como la resistencia de ofrece un líquido a fluir. Para ello se realizará un estudio comparativo de la viscosidad de los tres líquidos con los que trabajamos durante toda la práctica: el agua, la acetona y el alcohol.

2. Materiales y metodología

2.1. Densidad

- Picnómetro
- Balanza digital
- Materiales a estudiar: Agua, acetona, alcohol y perdigones de plomo

La primera parte de la práctica consiste en un estudio de la densidad de varios materiales (Acetona, alcohol y plomo) por el método de picnometría. Para ello contaremos con un picnómetro a nuestra disposición de un volumen *a priori* desconocido y que tendremos de calcular.

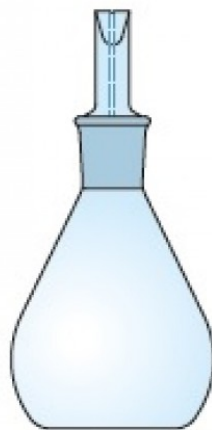


Figura 1: Esquema de un picnómetro

Cabe destacar que aunque el volumen del picnómetro venga indicado en el aparato este valor es orientativo y se debe realizar el cálculo del volumen igual ya que, como se podrá observar posteriormente, el valor indicado y el valor real difieren un poco. Para el cálculo del volumen del picnómetro se pesará primero vacío y seco en la balanza y luego se realizarán diez medidas con el picnómetro lleno de agua. En las medidas del picnómetro con agua es importante llenarlo hasta desbordarlo y luego secarlo bien para que el volumen de líquido se mantenga constante siempre y no existan gotas de agua por fuera que interfieran en la medida.

Para calcular el volumen vamos a partir del concepto de densidad ($\rho = \frac{m}{V}$) y suponemos que el agua es un líquido de densidad conocida ($\rho_o = 1000 \frac{kg}{m^3} = 1 \frac{g}{mL}$), para poder calcular así el volumen de agua que hay en el picnómetro con la siguiente relación:

$$V = \frac{m - m_p}{\rho_o} \quad (1)$$

Donde m es la media aritmética de los valores de la masa del picnómetro lleno de agua y m_p es la masa del picnómetro vacío y seco.

Una vez calculado el volumen del picnómetro podemos empezar a determinar las densidades de diferentes materiales. En concreto, en esta práctica trabajamos con dos líquidos (Acetona y alcohol) y un sólido, el plomo.

- Para el caso de los líquidos la metodología será muy parecida a las medidas realizadas con el agua. Llenaremos hasta desbordar el picnómetro con el líquido correspondiente, agua o alcohol, lo secaremos bien y pesaremos el picnómetro lleno. Repetiremos este proceso vaciándolo un poco y volviéndolo a llenar hasta tener diez medidas de la masa del picnómetro lleno con el líquido a estudiar. La ecuación de la densidad del líquido será la siguiente:

$$V = \frac{m' - m_p}{\rho} \quad (2)$$

Igualando la Ec.1 con la Ec.2 obtenemos la siguiente expresión para la densidad del líquido a estudiar:

$$\frac{m - m_p}{\rho_o} = \frac{m' - m_p}{\rho} \Rightarrow \frac{\rho}{\rho_o} = \frac{m' - m_p}{m - m_p} \quad (3)$$

Donde m' es la media aritmética de los valores de la masa del picnómetro con el líquido a estudiar, m es la media aritmética de los valores de la masa del picnómetro lleno de agua y m_p es la masa del picnómetro vacío y seco.

- Para medir la densidad de un sólido, en nuestro caso unos perdigones de plomo, lo primero que haremos es pesarlo seco antes de meterlo en el picnómetro. A continuación introducimos los perdigones en el picnómetro y lo llenamos con nuestro líquido de densidad conocida, el agua, y realizamos diez medidas vaciando un poco el picnómetro y volviéndolo a llenar.



Figura 2: Esquema de una picnometría de sólidos

Lo que tratamos de determinar con estas medidas es la diferencia de masa entre el picnómetro lleno con solo agua y con agua y perdigones. La masa total del conjunto obedecerá la siguiente relación:

$$m_T = m_P + m_s + \rho_o \Delta V \quad (4)$$

Donde ΔV es el volumen del agua en el picnómetro con perdigones:

$$\Delta V = V_P - V_s = V_P - \frac{m_s}{\rho_s} \quad (5)$$

Sustituyendo ΔV en la Ec.4 y despejando el volumen del picnómetro obtenemos:

$$V = \frac{m_T - m_P - m_s}{\rho_o} + \frac{m_s}{\rho_s} \quad (6)$$

Igualando con la Ec.1 obtenemos:

$$\frac{\rho_s}{\rho_o} = \frac{m_s}{m_s + m - m_T} \quad (7)$$

2.2. Viscosidad

- Viscosímetro
- Cronómetro
- Líquidos a estudiar

La segunda parte de la práctica consiste en un estudio de la viscosidad de diferentes líquidos, para los que calcularemos su coeficiente de viscosidad o viscosidad dinámica (η). Este coeficiente se define como la fuerza por unidad de área necesaria para mantener un gradiente de velocidad unidad entre dos planos paralelos de un fluido situados a una distancia unidad. La viscosidad en el CGS (Sistema Cegesimal de Unidades, basado en el centímetro, el gramo y el segundo) es el **poise** ($g(cm\ s)^{-1}$). La otra magnitud empleada es la viscosidad cinemática, que se define como el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad del fluido. En el CGS se mide en **stokes** (cm^2/s).

El coeficiente de viscosidad es inversamente proporcional a la velocidad de caída del líquido por un capilar, es decir cuánto más tarda el líquido en fluir por el capilar mayor será su viscosidad dinámica. Por tanto η es directamente proporcional al tiempo empleado por el líquido en recorrer cierta distancia a lo largo del capilar y la fórmula que relaciona las magnitudes es la siguiente:

$$\eta = k \cdot \rho \cdot t \quad (8)$$

Donde ρ es la densidad del fluido. Para medir η el procedimiento a seguir será medir el tiempo que tarda el fluido a estudiar en desplazarse entre las dos marcas de un viscosímetro como el de la Fig.3.

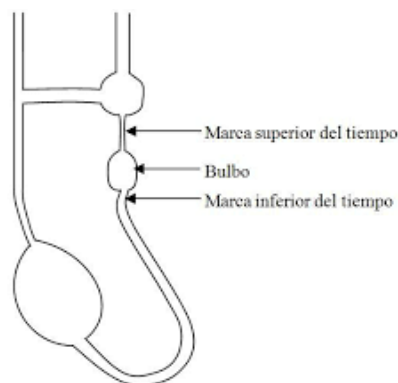


Figura 3: Esquema de un viscosímetro

No obstante el primer paso es conocer el valor de la constante de proporcionalidad (k), independiente de cada capilar y, por tanto, independiente de cada viscosímetro.

Para ello debemos trabajar con un líquido de densidad y viscosidad dinámica conocida, en nuestro caso será el agua a temperatura ambiente $T = 19,5 \pm 0,5^\circ C$. Su coeficiente de viscosidad dinámica a la temperatura de trabajo se puede obtener a partir de la siguiente ecuación:

$$\ln \frac{\eta}{\eta_{20}} = \frac{1,2348(20 - T) - 0,001467(T - 20)^2}{T + 96} \quad (9)$$

Donde η_{20} es la viscosidad dinámica del agua a $20^\circ C$, que se toma como constante y tiene un valor de $0,01 \text{ poise}$.

Una vez conocido el valor de la viscosidad dinámica del agua a la temperatura de trabajo realizaremos diez medidas del tiempo que tarda el agua en fluir desde la marca superior hasta la marca inferior del viscosímetro. Cabe destacar que antes de realizar estas medidas se debe limpiar el viscosímetro por dentro minuciosamente, pues cualquier mota de polvo podría alterar considerablemente los tiempos medidos o incluso bloquear el agua y impedir que fluya por los capilares de forma normal.

Estas medidas nos servirán para determinar con mayor exactitud la constante del viscosímetro a partir de la Ec.8 de la siguiente forma:

$$k = \frac{\eta}{\rho \cdot t} \quad (10)$$

Una vez determinada la constante del viscosímetro podemos proceder con rigor a determinar los diferentes coeficientes de viscosidad de los dos líquidos a estudiar: acetona y alcohol.

El procedimiento a seguir con los dos líquidos es idéntico, vamos a medir el tiempo que tardan en fluir desde la marca superior hasta la marca inferior del viscosímetro, como se observa en la Fig.3. En el caso de la acetona realizamos diez medidas de ese mismo tiempo, mientras que para el alcohol solo pudieron ser realizadas siete medidas por falta de tiempo. El cálculo de la viscosidad dinámica de cada líquido se realizará a partir de la Ec.8, con su respectiva incertidumbre obtenida a partir de propagación de incertidumbres.

3. Análisis de datos

3.1. Densidad

3.1.1. Cálculo del volumen del picnómetro

Como se explicó en la metodología, el primer paso de la práctica es calcular el volumen del picnómetro a partir de la Ec.1. La masa del picnómetro vacío y seco es la siguiente:

$$m_p = 19,12 \pm 0,01 \text{ g} \quad (11)$$

Donde la incertidumbre representa la precisión de la balanza empleada.

Para calcular el valor de la masa del picnómetro lleno de agua realizamos diez medidas y calculamos su media aritmética y su incertidumbre de tipo A y B con el siguiente tratamiento estadístico:

Medida	$m \pm s(m) \text{ g}$
1	$45,74 \pm 0,01$
2	$45,73 \pm 0,01$
3	$45,76 \pm 0,01$
4	$45,75 \pm 0,01$
5	$45,78 \pm 0,01$
6	$45,67 \pm 0,01$
7	$45,66 \pm 0,01$
8	$45,80 \pm 0,01$
9	$45,78 \pm 0,01$
10	$45,74 \pm 0,01$

Tabla 1: Medidas de la masa del picnómetro lleno de agua

La media aritmética de la muestra inicial (Con $n = 10$) y su desviación típica se calculan de la siguiente forma:

$$\bar{m} = \frac{\sum_i^n m_i}{n} = 45,74 \text{ g} \quad (12)$$

$$s_A(m) = \sqrt{\frac{\sum_i^n (m_i - \bar{m})^2}{n - 1}} = 0,043 \text{ g} \quad (13)$$

La desviación típica de la media se calcula de la siguiente forma:

$$s_A(\bar{m}) = \frac{s_A(m)}{\sqrt{n}} = 0,014 \text{ g} \quad (14)$$

El siguiente paso será establecer los intervalos de confianza para eliminar los valores discordantes y tener datos con más precisión. Los intervalos vendrán determinados por la siguiente relación: $\bar{m} \pm k \cdot s_A(\bar{m})$, donde $k \cdot s_A(\bar{m})$ representa la incertidumbre expandida y k es el factor de cobertura de la distribución T de Student. En todos los análisis posteriores tomaremos $k = 2$ para obtener una probabilidad del 95 %.

$$\begin{aligned} \bar{m} - k \cdot s_A(m) \leq m_i \leq \bar{m} + k \cdot s_A(m) \\ 45,654 \leq m_i \leq 45,826 \end{aligned} \quad (15)$$

A continuación debemos calcular el valor de la incertidumbre combinada de la muestra, que se calcula con la desviación típica de la media, calculada en la Ec.14 y la incertidumbre de tipo B, que tomaremos como la precisión de la balanza, por lo que tendrá un valor de 0,01:

$$s_C(\bar{m}) = \sqrt{[s_A(\bar{m})]^2 + [s_B(m)]^2} = 0,017 \text{ g} \quad (16)$$

Después de aplicar el factor de cobertura podemos observar que todos los datos experimentales se encuentran dentro del intervalo de confianza por lo que el valor final de la media de la masa del picnómetro con agua es el siguiente:

$$\bar{m} = 45,74 \pm 0,017 \text{ g} \quad (17)$$

Por tanto, el volumen del picnómetro tomaría el siguiente valor, aplicando la Ec.1:

$$V = \frac{\bar{m} - m_p}{\rho_o} = \frac{45,74 - 19,12}{2} = 26,621 \text{ mL} \quad (18)$$

Para calcular la incertidumbre del volumen del picnómetro vamos a aplicar propagación de incertidumbres:

$$\begin{aligned} s(V) &= \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial \bar{m}}\right)^2 s^2(\bar{m}) + \left(\frac{\partial V}{\partial m_p}\right)^2 s^2(m_p)} \\ s(V) &= \sqrt{\left(\frac{1}{\rho_o}\right)^2 s^2(\bar{m}) + \left(\frac{-1}{\rho_o}\right)^2 s^2(m_p)} = 0,014 \text{ mL} \end{aligned} \quad (19)$$

Por tanto, el valor final del volumen del picnómetro es el siguiente:

$$V = 26,621 \pm 0,014 \text{ mL} \quad (20)$$

3.1.2. Densidad de la acetona

Una vez conocido el volumen del picnómetro podemos proceder a determinar las densidades de diferentes sustancias, en primer lugar la acetona. Como se explicó en la metodología, el primer paso será tomar diez medidas de la masa del picnómetro lleno de acetona:

Medida	$m \pm s(m) \text{ g}$
1	$40,38 \pm 0,01$
2	$40,43 \pm 0,01$
3	$40,39 \pm 0,01$
4	$40,34 \pm 0,01$
5	$40,34 \pm 0,01$
6	$40,35 \pm 0,01$
7	$40,33 \pm 0,01$
8	$40,30 \pm 0,01$
9	$40,28 \pm 0,01$
10	$40,29 \pm 0,01$

Tabla 2: Medidas de la masa del picnómetro lleno de acetona

A continuación debemos realizar un tratamiento estadístico similar al que hicimos con los datos de las masas del picnómetro lleno de agua. La media y la desviación típica de la muestra se calculan con las Ec.12 y Ec.13 respectivamente:

$$\overline{m}_{ac} = 40,343 \text{ g} \quad (21)$$

$$s_A(m_{ac}) = 0,045 \text{ g} \quad (22)$$

Aplicando el factor de cobertura $k = 2$ obtenemos el intervalo de confianza $[40,253 \text{ g}; 40,433 \text{ g}]$, que engloba a todos nuestros datos. El siguiente paso será calcular la incertidumbre combinada (Usando la Ec.16) a partir de la desviación típica de la media (Usando la Ec.14) y la incertidumbre de tipo B, que tomaremos otra vez como 0,01, el valor de la precisión de la balanza:

$$s_A(\overline{m}_{ac}) = 0,014 \text{ g} \quad (23)$$

$$s_C(\overline{m}_{ac}) = \sqrt{0,014^2 + 0,01^2} = 0,017 \text{ g} \quad (24)$$

Por tanto, el valor final de la media de la masas del picnómetro lleno de acetona es el siguiente:

$$\overline{m}_{ac} = 40,34 \pm 0,017 \text{ g} \quad (25)$$

Este valor nos servirá para calcular la densidad de la acetona a partir de la Ec.3:

$$\frac{\rho}{\rho_o} = \frac{\overline{m}_{ac} - m_p}{\overline{m} - m_p} \Rightarrow \rho_{ac} = \frac{40,34 - 19,12}{45,74 - 19,12} = 0,79723 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad (26)$$

Aplicando propagación de incertidumbres podemos calcular la incertidumbre de esta medida indirecta:

$$s(\rho_{ac}) = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_{ac}}{\partial \overline{m}_{ac}}\right)^2 s^2(\overline{m}_{ac}) + \left(\frac{\partial \rho_{ac}}{\partial \overline{m}}\right)^2 s^2(\overline{m}) + \left(\frac{\partial \rho_{ac}}{\partial m_p}\right)^2 s^2(m_p)} \quad (27)$$

$$s(\rho_{ac}) = \sqrt{\left(\frac{1}{\overline{m} - m_p}\right)^2 s^2(\overline{m}_{ac}) + \left(\frac{-(\overline{m}_{ac} - m_p)}{(\overline{m} - m_p)^2}\right)^2 s^2(\overline{m}) + \left(\frac{\overline{m}_{ac} - \overline{m}}{(\overline{m} - m_p)^2}\right)^2 s^2(m_p)}$$

$$s(\rho_{ac}) = 0,00083 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Por tanto el valor final de la densidad de la acetona es:

$$\rho_{ac} = 0,79723 \pm 0,00083 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad (28)$$

El valor real de la densidad de la acetona es de $0,784 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, que se encuentra bastante próximo al resultado experimental pero no entra dentro del rango de incertidumbre. Los valores de la masa del picnómetro con acetona presentan muy poca dispersión por lo que el motivo de discordancia es otro. La diferencia entre los dos valores se puede explicar probablemente por la presencia de cierta cantidad de agua en el picnómetro, sustancia de una densidad mayor que la de la acetona y que, de estar presente, aumentaría el valor experimental de la densidad.

3.1.3. Densidad del alcohol

Para determinar la densidad del alcohol procederemos igual que con la acetona. En primer lugar, las diez medidas de la masa del picnómetro lleno de alcohol son las siguientes:

Medida	$m \pm s(m) \text{ g}$
1	$41,12 \pm 0,01$
2	$41,13 \pm 0,01$
3	$41,13 \pm 0,01$
4	$41,12 \pm 0,01$
5	$41,13 \pm 0,01$
6	$41,11 \pm 0,01$
7	$41,02 \pm 0,01$
8	$41,07 \pm 0,01$
9	$41,11 \pm 0,01$
10	$41,11 \pm 0,01$

Tabla 3: Medidas de la masa del picnómetro lleno de alcohol

A partir de un tratamiento estadístico idéntico al que realizamos con la acetona obtuvimos el siguiente dato de incertidumbre y la media de las masas:

$$\overline{m}_{al} = 41,105 \text{ g} \quad (29)$$

$$s_A(m_{al}) = 0,033 \text{ g} \quad (30)$$

Si aplicamos el factor de cobertura $k = 2$ obtenemos el intervalo de confianza $[41,039 \text{ g}; 41,171 \text{ g}]$, que nos obliga a dejar fuera a la medida número 7, de $41,02 \text{ g}$. Con estos datos podemos calcular ya la nueva media, la desviación típica de la media y la incertidumbre combinada de forma análoga a como lo hicimos con la acetona.

$$\overline{m}_{al} = 41,1144 \text{ g} \quad (31)$$

$$s_A(\overline{m}_{al}) = 0,0059 \text{ g} \quad (32)$$

$$s_C(\overline{m}_{al}) = 0,012 \text{ g} \quad (33)$$

El valor final de la media de las masas del picnómetro lleno de alcohol es:

$$\overline{m}_{al} = 41,11 \pm 0,012 \text{ g} \quad (34)$$

Sustituyendo este valor en la Ec.3 podemos obtener el valor de la densidad del alcohol:

$$\rho_{al} = \frac{41,11 - 19,12}{45,74 - 19,12} = 0,82620 \frac{g}{cm^3} \quad (35)$$

Por último, calcularemos la incertidumbre de la densidad del alcohol aplicando la Ec.3.1.2, sustituyendo, por supuesto, la media de las masas de la acetona por la del alcohol. De esta forma el valor final de la densidad del alcohol es:

$$\rho_{al} = 0,82620 \pm 0,00069 \frac{g}{cm^3} \quad (36)$$

El alcohol empleado en la práctica fue alcohol etílico o etanol, cuya densidad real es de $0,789 \frac{g}{cm^3}$. Este valor se encuentra también bastante próximo al experimental pero se sale del rango de incertidumbre. Esta discordancia se puede explicar de la misma forma que la anterior, la presencia de cierta cantidad agua en el picnómetro (Líquido de densidad mayor que la del alcohol) aumenta ligeramente el valor experimental de la densidad del alcohol. Como podemos observar, el ligero aumento de la densidad experimental se repite con ambos líquidos, lo que refuerza nuestras suposiciones de que la presencia de cierta cantidad de agua (Algo difícil de evitar) pueda estar causando estas variaciones.

3.1.4. Densidad de un sólido: El plomo

Para determinar la densidad del plomo lo primero que hicimos fue pesar nuestros perdigones de plomo:

$$m_{pe} = 9,61 \pm 0,01 \text{ g} \quad (37)$$

A continuación realizamos diez medidas de la masa del picnómetro con los perdigones lleno de agua, nuestro líquido de densidad conocida:

Medida	$m \pm s(m) \text{ g}$
1	$54,42 \pm 0,01$
2	$54,43 \pm 0,01$
3	$54,49 \pm 0,01$
4	$54,44 \pm 0,01$
5	$54,49 \pm 0,01$
6	$54,51 \pm 0,01$
7	$54,40 \pm 0,01$
8	$54,40 \pm 0,01$
9	$54,46 \pm 0,01$
10	$54,46 \pm 0,01$

Tabla 4: Medidas de la masa del picnómetro lleno de agua con los perdigones

El tratamiento estadístico a realizar es el mismo que en apartados anteriores:

$$\overline{m}_T = 54,450 \text{ g} \quad (38)$$

$$s_A(m_T) = 0,037 \text{ g} \quad (39)$$

Aplicando el factor de cobertura $k = 2$ obtenemos el intervalo $[54,376 \text{ g}; 54,524 \text{ g}]$, dentro del que se encuentran todos nuestros datos. Por tanto, podemos calcular la desviación típica de la media y la incertidumbre combinada, incluyendo la incertidumbre de tipo B, que será igual que en otros apartados 0,01.

$$s_A(\overline{m}_T) = 0,012 \text{ g} \quad (40)$$

$$s_C(\overline{m}_T) = 0,015 \text{ g} \quad (41)$$

Por tanto, la media de las masas del picnómetro con perdigones y agua es la siguiente:

$$\bar{m}_T = 54,45 \pm 0,015 \text{ g} \quad (42)$$

Este valor nos servirá para calcular la densidad del plomo a partir de la Ec.7

$$\frac{\rho_s}{\rho_o} = \frac{m_s}{m_s + m - m_T} \Rightarrow \rho_{Pb} = \frac{m_{pe}}{m_{pe} + \bar{m} - \bar{m}_T} = 10,6659 \frac{g}{cm^3} \quad (43)$$

Aplicando propagación de incertidumbres podemos calcular el valor de la incertidumbre de la densidad:

$$s(\rho_{Pb}) = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_{Pb}}{\partial m_{pe}}\right)^2 s^2(m_{pe}) + \left(\frac{\partial \rho_{Pb}}{\partial \bar{m}}\right)^2 s^2(\bar{m}) + \left(\frac{\partial \rho_{Pb}}{\partial \bar{m}_T}\right)^2 s^2(\bar{m}_T)} \quad (44)$$

$$s(\rho_{ac}) = \sqrt{\left(\frac{\bar{m} - \bar{m}_T}{(\bar{m} + m_{pe} - \bar{m}_T)^2}\right)^2 s^2(m_{pe}) + \left(\frac{-m_{pe}}{(\bar{m} + m_{pe} - \bar{m}_T)^2}\right)^2 s^2(\bar{m}) + \left(\frac{\bar{m} - \bar{m}_T}{(\bar{m} + m_{pe} - \bar{m}_T)^2}\right)^2 s^2(m_T)}$$

$$s(\rho_{ac}) = 0,0043 \frac{g}{cm^3}$$

Por tanto el valor de la densidad del plomo es de:

$$\rho_{Pb} = 10,6659 \pm 0,0043 \frac{g}{cm^3} \quad (45)$$

El valor real de la densidad del plomo es de $11,35 \frac{g}{cm^3}$, que se aleja un poco del valor experimental, algo más de media unidad. La aplicación del factor de cobertura nos llevó a que trabajamos con una buena precisión, quizás el fallo se debe a la poca exactitud de los datos. Una posibilidad bastante razonable es que los perdigones no sean integramente de plomo, sino de alguna aleación que altere su densidad.

3.2. Viscosidad

3.2.1. Cálculo de la constante del viscosímetro

A partir de la Ec.9 podemos determinar el valor de la viscosidad dinámica a la temperatura de trabajo despejándola de esta forma:

$$\begin{aligned}\eta_{ag} &= \eta_{20} e^{\frac{1,2348(20-T)-0,001467(T-20)^2}{T+96}} \\ \eta_{ag} &= 0,010054 \text{ poise}\end{aligned}\tag{46}$$

La incertidumbre obtenida para la viscosidad dinámica del agua a la temperatura de trabajo obtenida a partir de propagación de incertidumbres es la siguiente:

$$\begin{aligned}s(\eta_{ag}) &= \sqrt{\left(\frac{\partial \eta_{ag}}{\partial T}\right)^2 s^2(T)} \\ s(\eta_{ag}) &= 0,000054 \text{ poise}\end{aligned}\tag{47}$$

Por tanto, el valor de la constante de viscosidad del agua a la temperatura de trabajo es el siguiente:

$$0,010054 \pm 0,000054 \text{ poise}\tag{48}$$

Como se explicó en el apartado anterior, una vez conocida la viscosidad dinámica del agua a la temperatura de trabajo vamos a calcular la constante del viscosímetro. Para ello las medidas obtenidas fueron las siguientes:

Medida	$T \pm s(T) \text{ s}$
1	$153,45 \pm 0,25$
2	$156,20 \pm 0,25$
3	$154,89 \pm 0,25$
4	$154,54 \pm 0,25$
5	$153,50 \pm 0,25$
6	$154,06 \pm 0,25$
7	$154,01 \pm 0,25$
8	$154,27 \pm 0,25$
9	$154,64 \pm 0,25$
10	$154,10 \pm 0,25$

Tabla 5: Medidas del tiempo de flujo del agua

3.2.2. Viscosidad de la acetona

A continuación, vamos a aplicar ciertas técnicas estadísticas para calcular la media del tiempo con su incertidumbre. En primer lugar debemos calcular

3.2.3. Viscosidad del alcohol**4. Conclusión**