

3.10. Medición de la densidad del agua con relativa precisión

En el estudio y análisis de esta experiencia, es fundamental, prestar atención: 1) a los métodos de medición utilizados; 2) al uso de materiales / instrumentos de laboratorio que normalmente están disponibles en los laboratorios en la escuela media; 3) al proceso de identificación y tratamiento de la incertidumbre sistemática y aleatoria; 4) a la forma en que se analizan estadísticamente los datos para controlar las dispersiones detectadas; 5) al tratamiento que se da a las variaciones de la temperatura ambiente con respecto a la densidad esperada, pues, la misma introduce una dispersión de tipo sistemática; 6) al uso que se hace de los Handbook de Físico-Química, CRC Press, 1982-1983; 7) a cómo se comparan las dispersiones para luego despreciar la que menos afecta el resultado; 8) y, a cómo se controla las dispersiones de las mediciones aumentando el número de las mismas. Todos estos puntos, partes del proceso de hacer ciencia, integran modos de hacer y de ver que con la adecuada reflexión, en el alumno y alumna, los puede llevar poco a poco, a adquirir habilidades procedimentales y conceptuales, que le permiten mirar el hacer del científico desde una perspectiva más real y congruente con lo que es la Ciencia o la Física en la actualidad, actividades sociales donde la interacción, el compartir y el discutir es fundamental. Todo esto los hace más competente, pues, son capaces de aprender a usar una herramienta, ya sea matemática, conceptual o procedimental, al momento de hacer frente a una situación desconocida a la que se le debe encontrar una solución. Y más adelante, usar esas mismas herramientas en otras situaciones, en el aula y/o en vida cotidiana.

Consigna o afirmación que expone la situación a resolver

“La medición de la densidad del agua con relativa precisión”.

Interés o idea principal de la situación a resolver

Uno de los factores fundamentales en el proceso de medición en física es el control de las incertidumbres, tanto sistemáticas como aleatorias. Controlar o disminuir la incertidumbre en las mediciones implica

manejar un conjunto de competencias cuya adquisición, por parte de los alumnos y alumnas, pasa por la reflexión, la discusión y la interacción entre pares y entre estos y el guía (el docente). Lo que promueve un aprendizaje significativo, donde se aprende, a través de todo lo anterior, a conocer y comprender el sentido que tienen el uso de ciertas herramientas en el hacer de la física. Pero, lo anterior pasa o puede pasar, por promover en los alumnos y/o alumnas la adquisición de ciertas habilidades que giran alrededor de saber o ser capaz de:

1. detectar y tratar la incertidumbre sistemática y aleatoria en la medición;
2. comprender la función y la importancia del análisis estadístico de datos como una herramienta fundamental, al momento de establecer criterios de calidad sobre lo que ocurre dentro del fenómeno o situación que se estudia.
3. usar los resultados del análisis estadísticos de datos para controlar las incertidumbres detectadas;
4. usar Handbook en el área científica;
5. comparar las incertidumbres detectadas, en el análisis de la experiencia, para despreciar las que menos afectan el resultado;
6. comprender la importancia que tiene el

aumento del número de mediciones para controlar las incertidumbres aleatorias.

¿Se podría diseñar una experiencia centrada en la resolución de la consigna planteada?

La respuesta a esta cuestión es afirmativa, y es necesario recalcar que existen muchas formas de recrear y dar sentido a actividades con este cometido, la medición de la densidad del agua con relativa precisión. El concepto densidad es uno de los primeros conceptos que se trata en el área científica a nivel de la enseñanza media. Por lo general, las primeras experiencias en esta dirección se centran en la medición de la densidad de cuerpos regulares, usando diferentes métodos y comparando la precisión. Pero, llama la atención que no se promueva más el uso de la medición de densidades en el aula. Parte del material usado en esta experiencia es mostrado en la figura 3.98. La estructura procedimental de esta experiencia tiene como aspectos relevantes:

1. La exploración inicial de la medición de la densidad del agua. Para ello, se utilizó 25,0 ml de agua en un matraz volumétrico de 25,0 ml y se pesó en la Balanza.
2. El control de la incertidumbre aleatoria introducida por el cambio del agua, pasó por tomar el mismo matraz de 25,0 ml y se le agregó 8 veces 25,0 ml de agua destilada y se midieron

las masas para calcular las densidades correspondientes para luego promediar, figura 3.99.

3. La medición de la densidad de agua pasó por la comparación de los resultados de la densidad del agua del grifo con la densidad de agua destilada.

4. Las variables que se mantuvieron constantes, fueron la temperatura del agua y el volumen del agua, y se calculó la densidad.

¿Qué evidencias o pruebas se dan o podrían darse para medir la densidad del agua con relativa precisión?

Las experiencias se hicieron a 22,0 °C. La información en la tabla a continuación representa la variación introducida por el cambio de agua y por la Balanza, en un mismo matraz. Se

encontraron fluctuaciones en los valores obtenidos de la densidad, específicamente se notan variaciones en el tercer decimal, lo que era de esperar en vista de que el volumen del matraz sólo puede escribirse con tres cifras significativas. Cuando verificamos las características técnicas del matraz, se señala que es de 25,0 ml con $\pm 0,1$ ml.

Para identificar la dispersión introducida por la Balanza, se midió cuatro veces sin cambiar el matraz, ni el agua para identificar las variaciones introducidas por la balanza, los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 3.53. Se puede percibir que afecta a partir del quinto decimal. Luego, el origen de la dispersión principal proviene del cambio del agua o volumen del matraz y no de la balanza.



Figura 3.98.
Materiales a utilizar para la experiencia.



Figura 3.99.
Trasvase del agua.

Masa del agua (g)	Desviación estándar	Incertidumbre típica
24,933 1	25,0	0,997 324
24,848 0	25,0	0,993 920
24,926 0	25,0	0,997 040
24,907 4	25,0	0,997 296
24,864 1	25,0	0,994 564
Densidad promedio		0,996 (sd 0,002)

Cuadro 3.52:
Datos con cambio de agua y balanza con un mismo matraz.

Masa del agua (g)	Volumen (ml)	Densidad (g/ml)
24,864 1	25,0	0,994 564
24,863 7	25,0	0,994 548
24,863 3	25,0	0,994 532
24,863 0	25,0	0,994 520

Cuadro 3.53:
Datos producto de la medición sin cambiar el matraz y el agua.

Para controlar la incertidumbre introducida por el matraz, utilizamos ocho matraces diferentes cambiándole el agua. Este proceso controla

la incertidumbre en la fabricación del matraz y de la gota por exceso o por defecto. Los resultados los mostramos en el cuadro 3.55.

Para verificar la incidencia en la medición prevista por el cambio de agua, se llenó el mismo matraz, se pesó, se agregó una gota más y se observó en qué decimal ocurría el cambio. Los resultados fueron respectivamente: 0,997 120 y 0,999 812 g/ml. Las variaciones estadísticas producidas por el exceso o defecto de la

gota se controlaron realizando un mínimo de ocho mediciones con ocho muestras diferentes, cambiando el agua de un mismo matraz. Observamos una diferencia con respecto al valor esperado en el tercer decimal, por lo que supusimos que provenía de la masa de agua. Los resultados los mostramos en el cuadro 3.54.

Masa del agua (g)	Volumen (ml)	Densidad (g/ml)
24,849 3	25,0	0,993 972
24,903 8	25,0	0,996 152
24,874 4	25,0	0,994 976
24,797 0	25,0	0,991 880
24,833 9	25,0	0,993 356
24,911 3	25,0	0,996 452
24,893 7	25,0	0,995 748
24,799 9	25,0	0,991 996
Promedio		0,994
Desviación estándar (sd)		0,002

Cuadro 3.54:
Datos obtenidos cambiando el agua de un mismo matraz.

Masa del agua (g)	Volumen (ml)	Densidad (g/ml)
25,010 0	25,0	1,000 400
24,911 3	25,0	0,996 452
24,908 6	25,0	0,996 344
24,918 1	25,0	0,996 724
24,935 0	25,0	0,997 400
24,955 5	25,0	0,998 220
24,931 3	25,0	0,997 252
24,933 1	25,0	0,997 324
Densidad promedio		0,997 1
Desviación estándar		0,000 6
Incertidumbre en la fabricación del matraz		0,3 ml en 25,0 ml A 20,0 °C
Dispersión en el volumen (sd)		0,000 6 ml
Valor más probable		0,997 1 ± 0,0002

Cuadro 3.55:
Datos obtenidos controlando la incertidumbre en la fabricación del matraz.

Mostramos en la figura (3.100), la curva de variación de la densidad del agua con la temperatura, encontrada en el Handbook de Físico-Química, CRC Press, 1982-1983. Las variacio-

nes de la temperatura ambiente con respecto a la densidad esperada, que introducía una incertidumbre sistemática se controló haciendo una interpolación en esta curva.

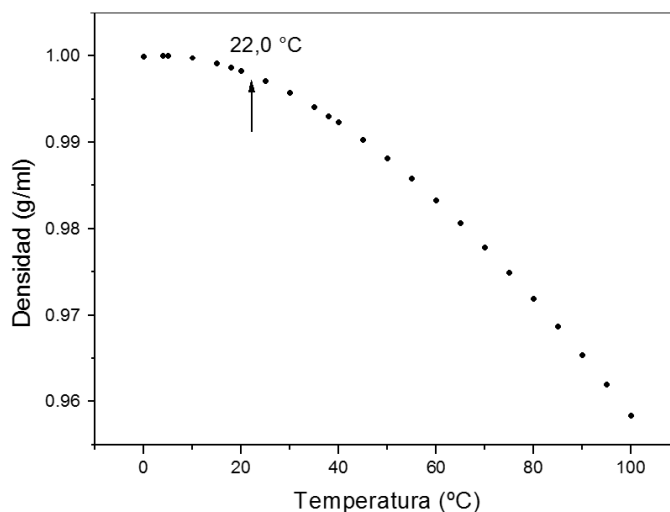


Figura 3.100.
Variación de la densidad vs la temperatura.

Verificación de la capacidad de la técnica.

Se tomaron 8 matraces de 25,0 ml de alcohol etílico comercial para determinar el porcentaje de alcohol y de agua en la mezcla. A cada matraz se le agregó 25,0 ml de alcohol etílico y se calcularon las densidades. En el cuadro 3.56 se muestra el promedio de las medidas de densidad junto con la desviación estándar.

Conocemos las densidades relativas del alcohol y del agua a la temperatura de 22 °C que son respectivamente 0,787 y 0,997. Con una regla de tres se establece que la mezcla es de 92 % de alcohol y 8 % de agua, correspondiendo a los valores esperados según las especificaciones técni-

cas del alcohol utilizado en la experiencia.

Conclusión

Mediante esta experiencia simple pero importante, hemos ilustrado el manejo experimental de las incertidumbres aleatorias y las sistemáticas y su control con los aparatos disponibles. Esto nos ha permitido establecer que el error que introduce una desviación del valor de la densidad del agua con respecto a la encontrada en la literatura a una temperatura aproximada de 22,0 °C (densidad de 0,997 2 g/ml) está en el cuarto decimal. De esta forma se encontró que el agua tiene una densidad de 0,997 1 g/ml (con la cifra dudosa en el cuarto decimal). Se repitió la experiencia con agua del

Masa del alcohol(g)	Volumen (ml)	Densidad (g/ml)
20,099 8	25,0	0,809 992
20,111 4	25,0	0,804 456
20,122 5	25,0	0,804 900
20,084 5	25,0	0,803 380
20,114 7	25,0	0,804 588
20,060 8	25,0	0,802 432
20,106 8	25,0	0,804 272
20,078 5	25,0	0,803 140
Densidad promedio		0,803 1
Desviación estándar		0,000 7

Cuadro 3.56:
Promedio y desviación estándar.

grifo y se encontró una densidad de $0,996 \pm 0,002$ g/ml lo que demuestra que el método no sirve para determinar la calidad de destilación del agua. Se deben utilizar otros parámetros físicos asociados con la densidad, como por ejemplo la resistividad, para determinar la calidad del agua destilada. Otro método para mejorar la precisión de la medición es proceder con la medición de parámetros físico-químicos, como por ejemplo absorción atómica. Sin embargo, el método es excelente para medir la densidad de líquidos o encontrar la calidad de una mezcla líquida. Incluso presentamos una experiencia simple que nos permitió, con ese método, determinar los porcentajes de alcohol y agua en un alcohol comercial.

Reflexión

La percepción de la ciencia de una gran parte de la población es que la característica fundamental de la misma gira alrededor de la complejidad, y hacemos esta afirmación, sin temor a equivocarnos, pues, los media con sus películas, proyectan

una imagen de que la ciencia se hace sólo a partir de grandes problemas, cuyas características principales son la complejidad y que para resolverlos es necesario contar con personas especiales (genios). Pero, la ciencia no sólo se construye y avanza a partir de encontrar y resolver situaciones complejas, la ciencia también se interesa por centrarse y explotar el estudio y análisis de situaciones simples o sencillas que muchas veces pasarían o pasan desapercibidas. La sencillez y simplicidad, cuya valía, sale a reducir, muchas veces, por un adecuado hacer de la ciencia, da también mucho que hacer a los hombres de ciencia. Tanto los problemas complejos, como los problemas sencillos, requieren el uso y manejo de saberes (tanto conceptuales, como procedimentales) de distintos niveles, pero, casi siempre se comienza por el uso de los más elementales.