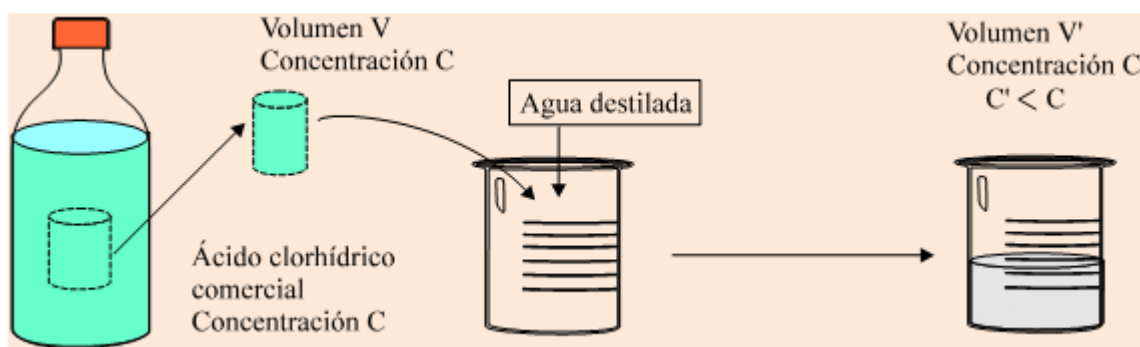


**¿Qué volumen de ácido clorhídrico 12 M precisaremos para obtener 40 cm<sup>3</sup> de disolución 3 M de éste mismo ácido?**

### Planteamiento

Son muchas las situaciones en las que se tiene una o varias sustancias disueltas y se desea rebajar la concentración de la disolución. Son conocidas, por ejemplo, las prácticas de añadir agua a bebidas alcohólicas; en los laboratorios de química se suele disponer de disoluciones acuosas de ácidos y bases muy concentradas, con lo que ocupan menos espacio; para pintar paredes se suele rebajar la pintura con agua; también sabemos que en muchas operaciones habituales en los laboratorios (por ejemplo, en las valoraciones), se han de manejar volúmenes de disoluciones de ácidos y bases de una concentración determinada y para ello es muy frecuente diluir adecuadamente las disoluciones concentradas que venden las casas que comercializan esos productos químicos.

En este caso, se trata de calcular qué volumen  $V$  de disolución de concentración molar conocida ( $C$ ), se precisa para obtener un volumen  $V'$  de disolución de una concentración molar menor ( $C'$ ). El proceso puede visualizarse de la manera siguiente:



### Hipótesis ¿De qué factores cabe esperar que dependa la magnitud buscada?

Es razonable plantear que el volumen buscado,  $V$ , dependerá de las concentraciones  $C$  y  $C'$ , así como del volumen de disolución diluida que se quiera obtener. Operativamente esto puede expresarse como:

$$V = f(C, C', V')$$

Más precisamente, a igualdad de las restantes variables influyentes en el proceso, cabe esperar que:

- ✓ Cuanto mayor sea el volumen  $V'$  de disolución diluida que deseamos preparar, mayor será el volumen  $V$  de disolución concentrada que deberemos extraer de la botella, es decir: Si  $V'$  aumenta,  $V$  también aumentará.
- ✓ Cuanto mayor sea la concentración  $C'$  de la disolución diluida que queremos preparar, mayor será el volumen  $V$  de disolución concentrada que deberemos sacar de la botella, es decir: Si  $C'$  aumenta,  $V$  también aumentará.
- ✓ Cuanto mayor sea la concentración  $C$  de la disolución de la botella, menos volumen de disolución necesitaremos extraer de la misma para preparar un volumen  $V'$  dado de disolución diluida (de concentración  $C' < C$ ), es decir: Si  $C$  aumenta,  $V$  disminuirá.

También podemos considerar alguna situación límite evidente como, por ejemplo, que si  $C' = C$  los volúmenes  $V$  y  $V'$  deberían ser iguales (no habría que añadir nada de agua) o que si  $C'$  fuese 0,  $V$  también

tendría que serlo. Finalmente, es evidente que, como lo que queremos es diluir, el valor de  $V$  siempre tendrá que ser inferior al de  $V'$ .

### ***Estrategia de resolución y resolución***

Una forma de relacionar  $V$  con las magnitudes de las cuales pensamos que depende es investigando si en el proceso de dilución hay algo que se mantenga invariable (búsqueda de regularidades).

En primer lugar conviene darse cuenta que la concentración de HCl en el volumen  $V$  deberá de ser idéntica a la concentración  $C$  correspondiente al clorhídrico comercial de la botella, ya que el hecho de sacar un poco de la disolución de la botella, afecta a la cantidad de soluto (que dependerá del volumen de disolución que se extraiga) pero no a su concentración que, lógicamente, permanecerá invariable.

En segundo lugar, la cantidad de soluto HCl existente en el volumen  $V$  tiene que ser la misma que la que existe en el volumen  $V'$ , ya que lo único que añadimos para diluir es agua destilada. Por tanto, el número de moles de HCl existente en la disolución diluida será el mismo que el existente en el volumen  $V$  de disolución concentrada que extraigamos de la botella. Como el número de moles de soluto está relacionado con la concentración molar de la disolución y con el volumen de la misma, una forma de resolver el problema sería igualar las expresiones correspondientes a los moles de HCl en  $V$  y en  $V'$  y a partir de la ecuación resultante obtener  $V$ .

De acuerdo con el razonamiento anterior:  $n_s = n'_s$

Como el número de moles de soluto de una disolución se puede expresar como el producto de la concentración molar por el volumen (en litros), sustituyendo en la ecuación anterior tenemos:  $C \cdot V = C' \cdot V'$  de donde obtenemos finalmente que:

$$V = \frac{C' \cdot V'}{C}$$

Sustituyendo los valores del enunciado, obtenemos, en este caso:  $V = 3 \cdot 0'04 / 12 = 0'01$  litros =  $10 \text{ cm}^3$

### ***Análisis del resultado***

El resultado literal obtenido es dimensionalmente homogéneo y contempla todas las hipótesis iniciales, incluyendo los casos límite que hemos planteado. Por otra parte, el resultado numérico obtenido entra dentro de lo esperado (por ejemplo, es menor que el volumen de la disolución final).

Ahora bien, conviene tener en cuenta que en las botellas en donde se comercializan los ácidos y bases que se usan en los laboratorios de química, no se suele indicar la concentración molar, siendo habitual que en la etiqueta figure la densidad de la disolución y la riqueza porcentual (gramos de soluto por cada 100 gramos de disolución).

*¿Cómo podríamos proceder en este caso?*

Tendríamos que variar el resultado literal anterior para expresar la concentración molar  $C$  en función de los datos que conocemos (densidad de la disolución y riqueza de la misma):

Para ello sabemos que  $n_s = m_s / M$  siendo  $m_s$  la masa (en gramos) de soluto y  $M$  su masa molar (en gramos/mol). Como la masa de soluto  $m_s$  está relacionada con la masa total  $m$  de la disolución mediante la riqueza porcentual de la misma, podemos escribir que:

$$m_s = \frac{r}{100} \cdot m \text{ siendo } r \text{ el valor de la riqueza en tanto por cien.}$$

Incluyendo las transformaciones anteriores en la expresión de la concentración molar  $C$ , tenemos:

$$C = \frac{n_s}{V} = \frac{m_s}{M \cdot V} = \frac{r \cdot m}{M \cdot V \cdot 100}$$

$m/V$  representa la densidad “ $d$ ” de la disolución en g/l, con lo que nos queda:

$$C = \frac{r \cdot d}{M \cdot 100} \text{ moles / l (si } r \text{ en } \%, d \text{ en g/l y } M \text{ en g/mol)}$$

Finalmente, sustituyendo esta última expresión en el resultado anterior, obtenemos:

$$V = \frac{C' \cdot V' \cdot M \cdot 100}{r \cdot d} \text{ litros (si } C' \text{ en moles/l, } V' \text{ en l, } M \text{ en g/mol, } d \text{ en g/l y } r \text{ en } \%).$$

### Refuerzo:

Para reforzar los conceptos involucrados en este problema, se puede usar una animación *Modellus* que hemos elaborado sobre él. En la pantalla se muestra el proceso y se dispone de tres controladores manuales con los que los alumnos pueden modificar los datos del problema (concentración de ácido, concentración y volumen de la disolución buscada), poniendo así a prueba sus hipótesis. La animación resuelve el problema, obteniendo y representando el volumen buscado,  $V$ , y el de la disolución,  $V'$ .

La imagen siguiente muestra el resultado cuando los datos coinciden con los que hemos adoptado en esta resolución. La animación y el programa para hacerla correr están disponibles en la página “Web de Materiales para la Enseñanza y la Divulgación de la Física”, de la Sección Local de Alicante de la RSEF <http://rsefalicante.umh.es/fisica.htm>

