



Química: prácticas de laboratorio

Sagrario Torres Cartas
Susana Meseguer Lloret
Mónica Catalá Icardo
Carmen Gómez Benito

3ª edición



Editorial
Universitat Politècnica
de València

Sagrario Torres Cartas
Susana Meseguer Lloret
Mónica Catalá Icardo
Carmen Gómez Benito

Química: prácticas de laboratorio

3^a edición

Colección *Académica*

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita: Torres Cartas, S.; Meseguer Lloret, S.; Catalá Icardo, M.; Gómez Benito, C. (2020) *Química prácticas de laboratorio* (3ª ed.). Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València

© Sagrario Torres Cartas
Susana Meseguer Lloret
Mónica Catalá Icardo
Carmen Gómez Benito

© 2020, edUPV

Venta: www.lalibreria.upv.es / Ref.: 0333-03-03-01

ISBN: 978-84-1396-058-6

Impreso bajo demanda

edUPV se compromete con la ecoimpresión y utiliza papeles de proveedores que cumplen con los estándares de sostenibilidad medioambiental

<https://editorialupv.webs.upv.es/compromiso-medioambiental>

Imprime: Byprint Percom, S. L.

Si el lector detecta algún error en el libro o bien quiere contactar con los autores, puede enviar un correo a edicion@editorial.upv.es

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo edicion@editorial.upv.es

Impreso en España

Resumen

El objetivo de este texto es ofrecer un material completo que permita al lector comprender y desarrollar algunas de las técnicas de trabajo y análisis más usuales en el laboratorio de Química. De esta manera, está especialmente indicado para el estudiante universitario de los primeros cursos.

Cada uno de los capítulos del libro comienza con una introducción al marco teórico que se va a tratar y desemboca en la resolución de un caso práctico en el laboratorio. Junto con esto, al finalizar cada capítulo se plantea al lector una serie de cuestiones que le permiten constatar tanto si es capaz de extraer conclusiones a partir de los experimentos desarrollados, como si ha comprendido el porqué de los pasos seguidos.

La comprensión de los temas no requiere que el usuario disponga de habilidades previas, ya que comienza tratando las operaciones básicas de laboratorio (como la pesada y la medida de volumen), y se describe el material de laboratorio y su adecuado manejo.

El orden en que se presenta el texto es el que se ha considerado más adecuado con la forma en que se suelen tratar los temas en los cursos habituales de química general, pero se pueden alterar en función de la formación de los estudiantes.

Tras los capítulos básicos iniciales, vertebrados alrededor de la preparación de disoluciones, se proponen aplicaciones prácticas relacionadas con la velocidad de las reacciones químicas. A continuación, se trabaja el equilibrio químico y su constante de equilibrio. Dentro de los distintos tipos de reacciones, se

abordan los que se dan entre ácidos y bases, dedicando especial atención a las diferentes formas de medir el pH, y a la preparación y características de las disoluciones amortiguadoras del pH.

También se pretende introducir al lector en técnicas de análisis sencillas, que permiten determinar la concentración de un compuesto en una muestra. Se introducen en este sentido las volumetrías, mediante dos aplicaciones prácticas, y la técnica del calibrado. Ésta última permite determinar la concentración de un compuesto en una muestra a través, por ejemplo, de la medida de la cantidad de color de una disolución.

La intención de poner en un solo texto toda la información necesaria para el manejo en el laboratorio ha requerido la incorporación de un anexo relacionado con las normas de seguridad y gestión de residuos. En los anexos se ha incluido también una estrategia alternativa para la obtención de los parámetros de la ley de velocidad, un ejemplo de disolución amortiguadora de pH básico, y las instrucciones para el uso de una hoja de cálculo.

Ante todo, el interés más profundo de las autoras al preparar el texto ha sido transmitir el gusto por el trabajo de laboratorio, ése que ha permitido a lo largo del tiempo medir, verificar y, en definitiva, hacer de la química una herramienta útil para otras disciplinas.

26 de julio de 2022

Sagrario Torres Cartas
Susana Meseguer Lloret
Mónica Catalá Icardo
Carmen Gómez Benito

Índice general

| | |
|--|------------|
| Resumen | iii |
| Índice general | v |
| 1 Preparación de disoluciones | 1 |
| 1.1 Objetivos | 2 |
| 1.2 Introducción | 2 |
| 1.3 Caso práctico | 32 |
| 2 Cinética de los procesos químicos | 39 |
| 2.1 Objetivos | 40 |
| 2.2 Introducción | 40 |
| 2.3 Caso práctico | 49 |
| 3 Equilibrio ácido-base: medida de pH y determinación de constantes de equilibrio | 63 |
| 3.1 Objetivos | 64 |
| 3.2 Introducción | 64 |
| 3.3 Caso práctico | 79 |
| 4 Comportamiento ácido-base de las sales y de las disoluciones tampón | 87 |
| 4.1 Objetivos | 88 |
| 4.2 Introducción | 88 |
| 4.3 Caso práctico | 102 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5 | Determinación espectrofotométrica de la concentración de un compuesto | 111 |
| 5.1 | Objetivos | 112 |
| 5.2 | Introducción | 112 |
| 5.3 | Caso práctico | 121 |
| 6 | Determinación de la constante de un equilibrio de formación de complejos | 127 |
| 6.1 | Objetivos | 128 |
| 6.2 | Introducción | 128 |
| 6.3 | Caso práctico | 136 |
| 7 | Volumetría de formación de complejos: determinación de la dureza del agua | 143 |
| 7.1 | Objetivos | 144 |
| 7.2 | Introducción | 144 |
| 7.3 | Caso práctico | 157 |
| 8 | Volumetría redox: análisis de hierro (II) en un fertilizante | 163 |
| 8.1 | Objetivos | 164 |
| 8.2 | Introducción | 164 |
| 8.3 | Caso práctico | 172 |
| A | Normas de seguridad y gestión de residuos | 179 |
| A.1 | Normas de seguridad | 179 |
| A.2 | Gestión de residuos | 182 |
| B | Determinación de parámetros cinéticos | 187 |
| B.1 | Una estrategia experimental alternativa para la determinación de los parámetros de la ley de velocidad | 187 |
| C | Ejemplo de disolución amortiguadora de pH básico | 195 |
| C.1 | Disolución amortiguadora de ion amonio/amoniaco | 195 |
| D | Ajuste lineal por mínimos cuadrados | 201 |
| D.1 | Ejemplo práctico | 202 |
| | Bibliografía | 209 |
| | Índice alfabético | 211 |

Índice de figuras

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | reactivos sólidos | 3 |
| 1.2 | reactivos líquidos | 3 |
| 1.3 | ejemplo de la etiqueta de un reactivo sólido de la casa comercial Pan-reac. Imagen extraída de la ‘Guía de Operaciones Básicas en Análisis Químico, Farmacéutico y Medioambiental’ de la Universidad de Valencia (www.uv.es/gammmm/) | 5 |
| 1.4 | vidrio de reloj. | 6 |
| 1.5 | pesasustancias de vidrio. | 6 |
| 1.6 | pesasustancias de plástico. | 6 |
| 1.7 | espátulas. | 7 |
| 1.8 | cuentagotas. | 7 |
| 1.9 | frasco lavador. | 7 |
| 1.10 | varillas. | 7 |
| 1.11 | imanes agitadores. | 7 |
| 1.12 | propipetas. | 7 |
| 1.13 | vasos de precipitados de vidrio pyrex. | 9 |
| 1.14 | probetas. | 9 |
| 1.15 | matraz Erlenmeyer. | 9 |
| 1.16 | pipetas graduadas. | 10 |
| 1.17 | pipetas aforadas. | 10 |
| 1.18 | micropipetas. | 10 |
| 1.19 | matraces aforados. | 10 |
| 1.20 | granatario. | 12 |
| 1.21 | balanza de precisión o analítica. | 12 |
| 1.22 | lectura del volumen en la base del menisco | 14 |

| | | |
|------|---|-----|
| 1.23 | porción de líquido que queda en la punta de la pipeta tras su vaciado . . . | 16 |
| 1.24 | material necesario para la preparación de una disolución de <i>concentración aproximada</i> | 17 |
| 1.25 | material necesario para la preparación de una disolución de <i>concentración exacta</i> | 17 |
| 2.1 | representación de datos experimentales de $\ln k$ frente a $1/T$ para la reacción de descomposición del H_2O_2 catalizada con pirita. | 49 |
| 3.1 | escala de color-pH de un papel indicador y ejemplo del uso del papel indicador para la medida del pH del jugo del limón | 77 |
| 3.2 | electrodo de un pH-metro | 77 |
| 3.3 | detalle del electrodo de un pH-metro introducido en una disolución. | 78 |
| 5.1 | esquema de los componentes y funcionamiento de un colorímetro. | 113 |
| 5.2 | espectro de absorción del KMnO_4 en la zona del UV-visible del espectro electromagnético. | 116 |
| 5.3 | patrones de calibración de KMnO_4 | 118 |
| 5.4 | muestras de KMnO_4 de concentración desconocida. | 118 |
| 5.5 | ajuste de los datos de 'Concentración' y 'Absorbancia' a una recta mediante mínimos cuadrados. | 119 |
| 5.6 | espectro de absorción del dicromato potásico en la zona del UV-visible del espectro electromagnético | 122 |
| 6.1 | variación de la concentración de productos y reactivos de la reacción de descomposición del N_2O_4 | 129 |
| 6.2 | espectro de absorción del complejo FeSCN^{2+} en la zona del visible del espectro electromagnético. | 134 |
| 7.1 | montaje típico para una volumetría. | 147 |
| 7.2 | complejo $[\text{Ca-EDTA}^{2-}]$ | 153 |
| A.1 | ejemplo de etiqueta de identificación de residuos peligrosos | 183 |
| B.1 | ajuste lineal del logaritmo de la velocidad frente al logaritmo de la concentración para la reacción de descomposición del H_2O_2 | 190 |
| D.1 | pantalla inicial del programa Libre Office en la que se elige el tipo de trabajo que se desea realizar. | 203 |
| D.2 | hoja de cálculo del Libre Office tras introducir los datos de x-y en columnas. | 204 |
| D.3 | instrucciones para la obtención de un gráfico a partir de los datos seleccionados. | 204 |

| | | |
|-----|--|-----|
| D.4 | selección del <i>Tipo de gráfico XY</i> (dispersión) con la opción en la que sólo aparecen los puntos experimentales. | 205 |
| D.5 | selección de los <i>Elementos de gráficos</i> : títulos, información de los ejes X e Y, leyendas y configuración de la cuadrícula. | 206 |
| D.6 | gráfico 'Absorbancia-Concentración' obtenido con la opción XY (dispersión). | 206 |
| D.7 | obtención del ajuste por mínimos cuadrados de los puntos seleccionando la opción <i>Insertar línea de tendencia</i> | 207 |
| D.8 | ventana en la que se seleccionan el tipo de ajuste (lineal) y la información adicional que se desea que aparezca en la gráfica (ecuación y R^2). | 208 |
| D.9 | gráfico XY (dispersión) con el ajuste de los puntos a una recta (mediante mínimos cuadrados) junto con su ecuación ($y = bx + a$) y el valor del coeficiente de correlación (R^2). | 208 |

Práctica 1

Preparación de disoluciones

En esta práctica se describen los tipos de reactivos químicos que existen en el laboratorio y se detalla el material de laboratorio más común. Además, se describen las operaciones básicas y los cálculos necesarios para la preparación de disoluciones de concentración aproximada y exacta.

1.1 Objetivos

Los objetivos de esta práctica son los siguientes:

- Distinguir distintos tipos de reactivos químicos según su calidad.
- Aprender qué es una disolución.
- Identificar y manejar el material de laboratorio más adecuado para la preparación de disoluciones de concentración aproximada y exacta.
- Preparación de disoluciones de concentración aproximada y exacta a partir de reactivos sólidos, reactivos líquidos y disoluciones.
- Realizar cálculos relacionados con la preparación de disoluciones

1.2 Introducción

1.2.1 Normas de seguridad y gestión de residuos

Los organismos públicos establecen normas de seguridad y gestión de los residuos generados. A modo de ejemplo, en el Apéndice A se resumen las Normas de seguridad, por lo que es *muy importante* leer esta información antes de iniciar el trabajo en el laboratorio.

Además, en el mismo apéndice se da por una parte información general sobre las Gestión de Residuos en los laboratorios de la UPV, y por otra, se especifica qué se ha de hacer con los residuos generados en cada una de las prácticas descritas en el libro.

1.2.2 Reactivos de laboratorio y disoluciones

Un *reactivo* químico es una sustancia que se comercializa, y que suele encontrarse con diferentes grados de pureza (o riqueza).

Hay reactivos sólidos (figura 1.1) y líquidos (figura 1.2), y un mismo producto puede comercializarse con diferentes calidades. Los grados de calidad, en orden creciente de pureza, son los siguientes: *puro* (PR), *purísimo* (PRS) y *para análisis* (PA)



Figura 1.1: reactivos sólidos



Figura 1.2: reactivos líquidos

Además, pueden encontrarse calidades específicas para algunas técnicas analíticas, como: cromatografía líquida (grado HPLC) o ultravioleta infrarrojo (grado UVIR).

Por otra parte, existe un grupo de compuestos de alta pureza, denominados *sustancias patrón tipo primario (sptp)*, que se utilizan como patrones en técnicas de análisis químico como, por ejemplo, las volumetrías y las colorimetrías, debido a sus características especiales: son reactivos sólidos de composición conocida (se conoce la estructura y los elementos que la componen), con elevada pureza (cercana al 100%, además se conoce la concentración del compuesto principal y la de las impureza presentes en el reactivo), estables a la temperatura de secado, poco higroscópicos (no suelen hidratarse por la humedad ambiental) y con una masa molecular grande. En el laboratorio, estos reactivos se conservan normalmente en un desecador, protegidos de la humedad del ambiente. Algunos de los reactivos sólidos empleados como *sptp* son: dicromato potásico, carbonato sódico, ftalato ácido de potasio y ácido etilendiamino tetraacético (EDTA).

A partir de los reactivos comerciales se suelen preparar *disoluciones*. Una disolución es una mezcla homogénea de dos ó más compuestos. Se denomina *soluto* al compuesto (o compuestos) de interés, que normalmente es minoritario en la disolución, y *disolvente* al compuesto (o compuestos) que se emplea como medio para disolver el soluto; generalmente se utiliza agua destilada o desionizada como disolvente.

La *concentración* de la disolución expresa la cantidad de soluto que hay en un volumen o masa de disolución. Aunque se comercializan algunas disoluciones ya preparadas (disoluciones valoradas, disoluciones tampón, etc.), la *preparación de una disolución* es una de las operaciones que se realizan con mayor frecuencia en un laboratorio químico, es decir, es una de las operaciones básicas de laboratorio (sección 1.2.4).

En función de las necesidades del experimento, se decidirá qué disolución se ha de preparar y cuál es la calidad de reactivo apropiada en cada caso, con el objetivo de obtener el mejor resultado al menor coste posible.

La etiqueta de un reactivo

En la etiqueta de un frasco de reactivo aparece información de interés, como el nombre del compuesto, su riqueza, etc. En la figura 1.3 se muestra un ejemplo de la etiqueta de un frasco de reactivo con la siguiente información:

- Nombre del compuesto, calidad y aplicaciones
- Fórmula química
- Masa molecular
- Riqueza (o Pureza)
- Impurezas
- Densidad (sólo en los reactivos líquidos)
- Pictogramas de seguridad [Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo. s.f.]
- Frases de Riesgo (R) y de Seguridad (S) [Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Economía Social s.f.]

De toda la información que aparece en la etiqueta de un reactivo, la *masa molecular* del compuesto y la *riqueza* y *densidad* del reactivo (esta última sólo en el caso de un reactivo líquido) son los datos necesarios para poder realizar una serie de (*cálculos previos*), que nos permitan establecer la cantidad de reactivo necesaria.



Figura 1.3: ejemplo de la etiqueta de un reactivo sólido de la casa comercial Panreac. Imagen extraída de la 'Guía de Operaciones Básicas en Análisis Químico, Farmacéutico y Medioambiental' de la Universidad de Valencia (www.uv.es/gammmm/)

Manejo de los reactivos

Cuando se trabaja con un reactivo, se deben tomar una serie de precauciones. Para saber qué tipo de precauciones hay que tomar relacionadas con la seguridad, se deben mirar las frases de riesgo y seguridad en la etiqueta de los reactivos.

Además, existen otras precauciones que se han de tener en cuenta para evitar que exista contaminación de los reactivos y obtener buenos resultados. Entre ellas se encuentran las siguientes:

- Una vez se ha sacado una cantidad de reactivo de su frasco, *nunca se devuelve al frasco original*, para evitar que se contamine el contenido del mismo: *¡Nunca podemos estar 100% seguros de la limpieza de la espátula o del resto de material empleado!*
- Se ha de tapar el recipiente del reactivo inmediatamente después de usarlo, para evitar que se derrame, contamine o degrade. También es importante no intercambiar las tapas de los botes de reactivos.
- Se han de *mantener limpios* los estantes en los que se almacenan los reactivos y las *balanzas*, tanto para alargar la vida del material de laboratorio, como para obtener buenos resultados. Cualquier producto derramado *se ha de limpiar inmediatamente*.

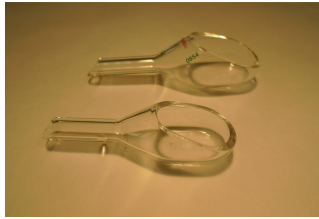


Figura 1.4: vidrio de reloj. **Figura 1.5:** pesasustancias de vidrio. **Figura 1.6:** pesasustancias de plástico.

1.2.3 Material de laboratorio para la preparación de disoluciones

El material de laboratorio empleado para la preparación de una disolución varía en función de si se desea preparar una disolución de concentración exacta o aproximada. El material de laboratorio se clasifica en función de si se utiliza para tomar un volumen o no, en dos tipos:

- *Material no volumétrico*: no se usa para medir volúmenes.
- *Material volumétrico*: se usa para medir volúmenes. Este material puede ser *aproximado* o *exacto*

Material no volumétrico

El material no volumétrico se emplea cuando no se requiere medir un volumen. Algunos de los utensilios de laboratorio no volumétricos son:

- *Vidrio de reloj* (figura 1.4) y *pesasustancias* de vidrio (figura 1.5) o de plástico (figura 1.6), para pesar sólidos en una balanza.
- *Espátulas* (figura 1.7), para extraer los reactivos sólidos de los frascos contenedores.
- *Cuentagotas* (figura 1.8), para añadir pequeñas cantidades de un líquido.
- *Frasco lavador* (figura 1.9), que contiene el agua destilada.
- *Varillas de vidrio* (figura 1.10) o *Imanes agitadores* (figura 1.11), para agitar disoluciones y disolver reactivos sólidos en el disolvente.
- *Propipetas* (figura 1.12), para succionar un líquido con la pipeta.



Figura 1.7: espátulas.

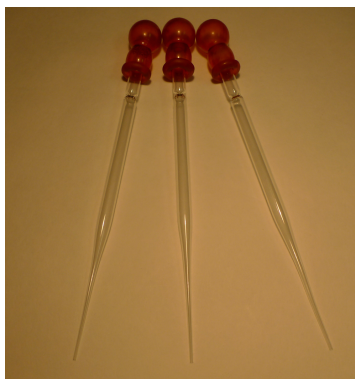


Figura 1.8: cuentagotas.



Figura 1.9: frasco lavador.

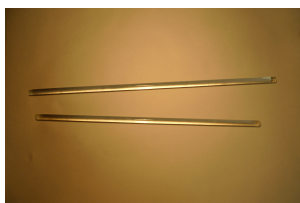


Figura 1.10: varillas.



Figura 1.11: imanes agitadores.



Figura 1.12: propipetas.

Material volumétrico aproximado

El material volumétrico *aproximado* se utiliza para medir volúmenes con una precisión baja. Éste incluye *vasos de precipitados* (figura 1.13), *probetas* (figura 1.14) y *matraces Erlenmeyer* (figura 1.15); todos ellos tienen unas marcas que indican el volumen de forma aproximada.

Los vasos de precipitados pueden ser de vidrio o plástico, y tener forma alta o baja. Se utilizan para preparar disoluciones aproximadas y también para medir volúmenes aproximados con una precisión muy baja. Los vasos de vidrio pyrex se pueden calentar.

Las probetas son tubos cilíndricos acabados en un pico, que facilita el vertido de los líquidos, y con una amplia base, que les permite mantenerse en posición vertical. En una probeta no deben verterse líquidos calientes, ni puede calentarse por encima de la temperatura ambiente, ya que pierden el calibrado: se dilatan, si son de vidrio, o se deforman, si son de plástico. La precisión de las probetas es mayor que la de los vasos de precipitados, aunque se consideran material volumétrico de precisión baja.

Los matraces Erlenmeyer son recipientes de vidrio de forma troncocónica. La precisión para la medida de un volumen con este material es muy baja. Sin embargo, debido a su forma, son muy útiles para realizar la evaporación controlada de un líquido o para realizar mezclas con agitación minimizando el riesgo de pérdidas, por lo que se utilizan en las volumetrías (ver capítulo 7).

Material volumétrico exacto

El material volumétrico *exacto* es generalmente de vidrio y se utiliza para la medida de volúmenes con una precisión elevada. Este material incluye *pipetas graduadas* (figura 1.16), *pipetas aforadas* (figura 1.17), *micropipetas* (figura 1.18) y *matraces aforados* (figura 1.19); su precisión en la medida del volumen viene impresa en el mismo material.

Mientras que las pipetas graduadas se emplean para medir cantidades variables de líquidos, las pipetas aforadas sólo permiten medir un volumen fijo.

Un matraz aforado es un recipiente de fondo plano con forma de pera que tiene un cuello largo y delgado, y se utiliza para preparar volúmenes exactos de disoluciones de concentración conocida. La marca grabada en el cuello, denominada *línea de enrase*, indica el volumen de líquido contenido a una



Figura 1.13: vasos de precipitados de vidrio pyrex.



Figura 1.14: probetas.

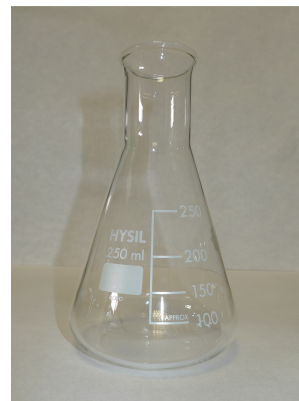


Figura 1.15: matraz Erlenmeyer.

temperatura definida, y señala la cantidad de disolvente que se ha de añadir para alcanzar el volumen indicado en el matraz.

Se ha de resaltar que el material volumétrico exacto está calibrado para trabajar a temperatura ambiente, por lo que este material no se puede ni calentar ni enfriar, ya que dejaría de estar calibrado, es decir, que el volumen especificado en el material volumétrico no se correspondería con el volumen medido con él.

Limpieza de material

El material con el que se trabaja en el laboratorio ha de estar exento de cualquier residuo, y para su limpieza es recomendable realizar los siguientes pasos:

1. Lavar el material con agua del grifo, y utilizar detergente cuando sea necesario.
2. Eliminar bien los restos de detergente con agua del grifo.
3. Enjuagar el material varias veces con pequeñas porciones de agua destilada.

**Para seguir leyendo, inicie el
proceso de compra, click aquí**