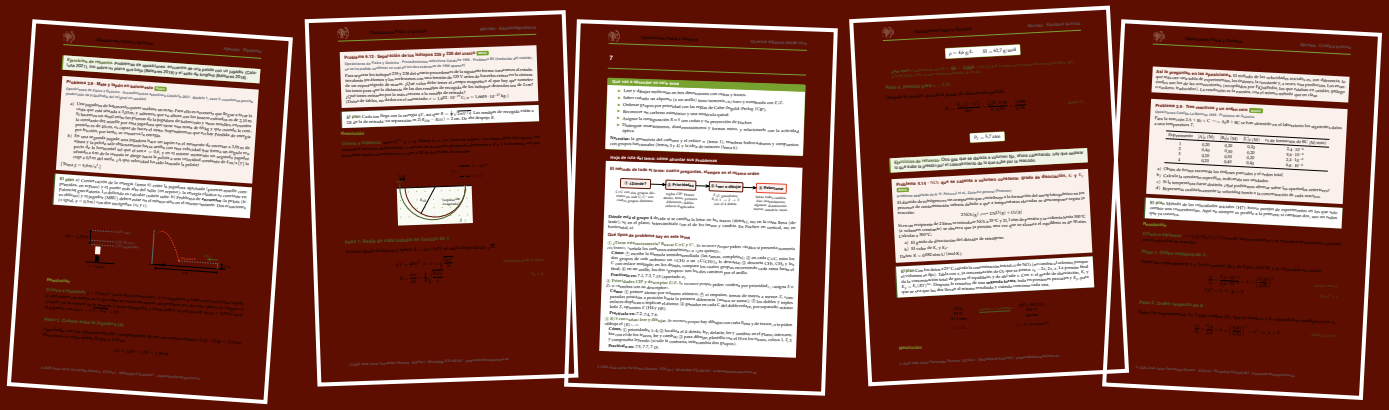
OPOSICIONES DE FÍSICA Y QUÍMICA

Muestra de materiales

Apuntes, herramientas, problemas EDUka-t y problemas reales de las convocatorias de toda España, resueltos paso a paso



Física Mecánica · Electromagnetismo

Química El átomo y la tabla periódica · Enlace iónico · Enlace covalente · Fuerzas intermoleculares · Cinética · Equilibrio · Química orgánica

Temario Temas desarrollados para la prueba escrita

José Javier Fernández Romero

EDUka-t Formación · preparadorfisicayquimica.es

Así son los materiales

Este recopilatorio reúne páginas reales de los apuntes y del temario con los que trabajamos en EDUka-t. No se ha rehecho nada para la muestra: cada página es tal y como la tiene el alumno, con su numeración original. Están elegidas para que se vea todo lo que hay en los materiales:

Teoría completa, paso a paso
Cada tema va de lo concreto a lo general, con figuras, y empieza con un recuadro de *ideas clave*. No se da nada por sabido.

Guía general y hoja de ruta
Al principio de cada libro hay una guía para afrontar cualquier problema. Cada tema empieza con su hoja de ruta: tipos de problema, errores frecuentes y qué hacer primero.

Caja de herramientas
Las técnicas de cálculo que se repiten (logaritmos, derivadas, integrales, ecuaciones...) están explicadas una vez y se citan como H1, H2...

Ejercicios de refuerzo EDUka-t
Después de cada ejemplo de clase hay ejercicios parecidos, de elaboración propia y con un paso más de dificultad, marcados por nivel: básico, medio o avanzado.

Problemas reales de oposición
De las convocatorias de toda España, cada uno con su procedencia exacta: comunidad, año y número de problema.

Un método fijo de resolución
Datos, criterio, plan y pasos numerados. Cada operación va en su línea, con una nota a la derecha que dice qué se ha hecho. El resultado va recuadrado.

Otra forma de plantearlo
En los problemas difíciles se resuelve también por un segundo camino y se dice cuándo conviene cada uno.

Error típico y «Ojo con los datos»
Avisos con los fallos que más se repiten. Cuando un enunciado de examen trae datos erróneos, se explica qué falla y qué hacer en el examen.

Y además

Cada colección tiene un **cuaderno del alumno** con los enunciados en blanco, un espacio cuadriculado para resolverlos y las soluciones al final. El **temario** de la especialidad está desarrollado tema a tema para la prueba escrita.

Cómo leer esta muestra

La muestra tiene once bloques, uno por colección. Cada bloque empieza con una página que presenta la colección completa y dice qué páginas se han seleccionado. La pestaña granate del borde derecho indica el bloque y el número de página de la muestra.

Índice

01 **Mecánica** 4
Apuntes y problemas de mecánica · 16 temas · 244 problemas · 117 de oposiciones

02 **Electromagnetismo** 15
Apuntes y problemas de electromagnetismo · 12 temas · 226 problemas · 85 de oposiciones

03 **El átomo y la tabla periódica** 25
Apuntes y problemas · 7 temas · 147 problemas · Oposiciones de toda España

04 **Enlace iónico** 32
Apuntes y problemas · 4 temas · 47 problemas · 13 de oposiciones

05 **Enlace covalente** 38
Apuntes y problemas · 4 temas · 63 problemas · 26 de oposiciones

06 **Fuerzas intermoleculares y enlace metálico** 45
Apuntes y problemas · 4 temas · 74 problemas · Oposiciones de toda España

07 **Cinética química** 51
Apuntes y problemas · 8 temas · 81 problemas · 28 de oposiciones

08 **Equilibrio químico** 59
Apuntes y problemas · 13 temas · 144 problemas · Oposiciones de toda España

09 **Química orgánica desde cero** 67
Para aprender orgánica partiendo de cero · 16 temas · 257 ejercicios · Oposición desde el tema 9

10 **Química orgánica para oposiciones** 77
Repaso con problemas de oposición · 10 temas · 171 problemas · 118 de oposiciones

11 **Temario de oposición** 82
Física y Química para profesores de Educación Secundaria · Temario completo · 6 tomos · Resumen de cada tema

Las páginas de cada bloque conservan la numeración del libro del que proceden. Los problemas de oposición se reproducen con su procedencia, y sus resoluciones son de EDUka-t.

01

Mecánica

Apuntes y problemas de mecánica

Desde la cinemática vectorial hasta la dinámica del sólido rígido, en 16 temas. El tema 0 repasa las matemáticas que hacen falta. Hay una guía general para afrontar cualquier problema, una hoja de ruta al empezar cada tema y una figura en todos los problemas.

16 temas **244 problemas** **117 de oposiciones**

En esta muestra

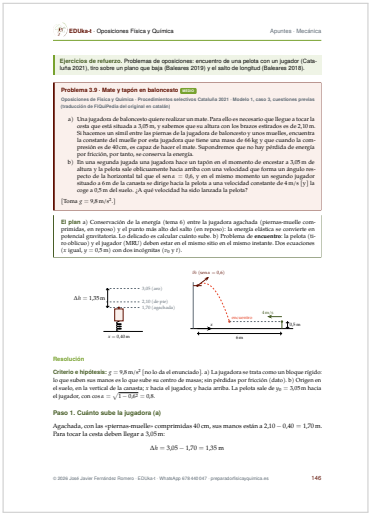
Guía general: cómo afrontar cualquier problema de mecánica 5

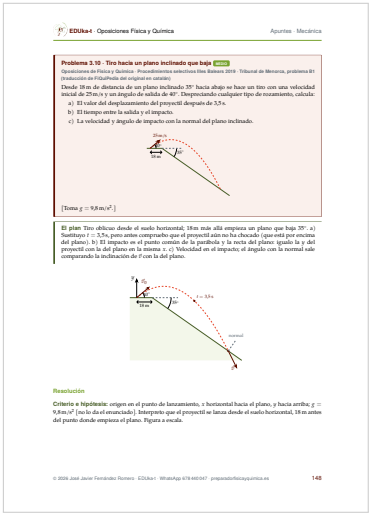
Problema 3.8 · Proyectil que salva el borde de un precipicio (Illes Balears 2024) 6

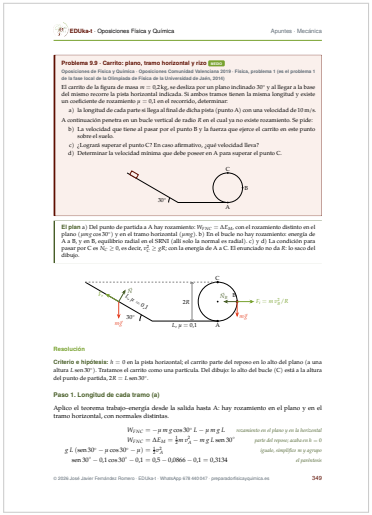
Problema 3.9 · Mate y tapón en baloncesto (Cataluña 2021) 8

Problema 3.10 · Tiro hacia un plano inclinado (Illes Balears 2019), con «Otra forma de plantearlo» 10

Problema 9.9 · Carrito con rizo (Comunidad Valenciana 2019), con «Ojo con los datos» y explicación ampliada 12







Guía general: cómo afrontar cualquier problema de mecánica

Esta guía no es un tema más: no trae teoría nueva. Es el **mapa** del libro y la forma de trabajar que usan todas sus resoluciones. Sirve para tres cosas: saber *qué tipo de problema tienes delante*, elegir *el camino más corto* para resolverlo (casi siempre hay dos: dinámica o energía, sistema inercial o no inercial, el sistema completo o cada cuerpo por separado…, y el libro te enseña los dos) y *comprobar* que el resultado tiene sentido antes de darlo por bueno. Léela entera al empezar y vuelve a ella cuando un problema no sepas por dónde cogerlo.

Cómo usar el libro y el cuaderno

El libro tiene dos partes que se usan juntas: estos **apuntes**, con la teoría y todos los problemas resueltos paso a paso, y el **cuaderno del alumno**, con los mismos enunciados, una hoja cuadriculada para cada uno y las soluciones al final.

El plan de estudio de cada tema

1. **Hoja de ruta.** Al principio de cada tema, justo después de «Ideas clave del tema», tienes su hoja de ruta: qué tipos de problema hay, qué tienes que saber antes, los errores que más se repiten, cómo comprobar el resultado y qué problemas hacer primero. Léela antes de empezar y vuelve a ella al terminar.
2. **Teoría.** Lee la teoría con lápiz: rehaz tú las deducciones (las de los recuadros Demostración puedes dejarlas para la segunda vuelta). Si una cuenta no te sale, búscala en el tema 0 o en la caja de herramientas (H1–H21, y las herramientas propias de algunos temas, que se citan por su nombre).
3. **Ejemplo de clase.** Son los ejercicios del manuscrito. Léelos despacio, fijándote en el *plan* y en el *diagrama de fuerzas*: es lo que tendrás que hacer tú solo.
4. **Refuerzo.** Tapa la resolución y hazlo en el cuaderno. Mira la solución numérica del final del cuaderno; si no coincide, busca el fallo antes de leer la resolución completa.
5. **Oposición.** Hazlo en el cuaderno, con reloj y como en el examen (sección «Cómo afrontar un problema de oposición en el examen», casi al final de esta guía).
6. **Autoevaluación.** Marca las casillas de «Al terminar el tema, deberías ser capaz de». Lo que no puedas marcar, repásalo con los problemas que indica la hoja de ruta.

Repaso espaciado. Un problema que has hecho una vez no está aprendido. Vuelve a hacer en el cuaderno, sin mirar, los problemas clave de cada tema **a los dos o tres días, a la semana y al mes**. Marca en el índice de ejercicios los que fallaste y repite solo esos. Es más eficaz hacer de nuevo diez problemas conocidos que leer veinte nuevos. Y empieza por el **tema 0**: su autodiagnóstico te dice en un cuarto de hora qué matemáticas tienes que repasar.

Cómo leer una resolución de este libro

Todas las resoluciones tienen la misma estructura y los mismos recuadros. Cada uno tiene una función:

Recuadro o marca	Para qué sirve
El plan	La estrategia en dos o tres frases, antes de cualquier cuenta: qué ley, en qué sistema de referencia y por qué. Es lo primero que tienes que saber hacer tú.

Problema 3.8 · Proyectil que salva el borde de un precipicio BÁSICO

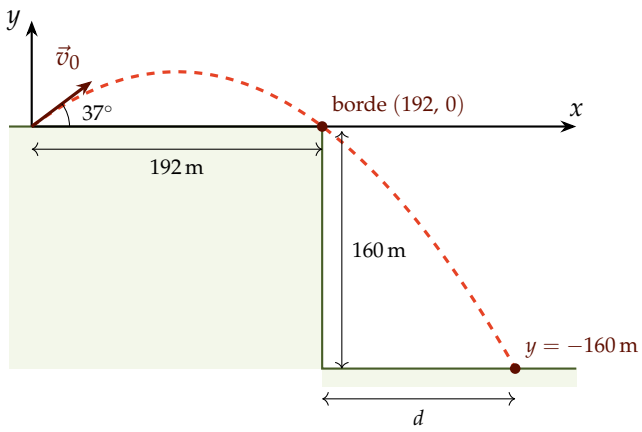
Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos Illes Balears 2024 · Tribunal de Ibiza, problema B2 (traducción de FiQuiPedia del original en catalán)

Se dispara un proyectil con una velocidad inicial y un ángulo de elevación de 37° sobre la horizontal. El disparo se realiza desde un punto a 192 m del borde de un precipicio de 160 m de profundidad. El proyectil salva estrictamente ese borde.

a) Realiza el esquema del movimiento.
b) Calcula la velocidad inicial.
c) Calcula la distancia que separa el impacto del pie del precipicio.

[Toma $g = 9{,}8\,\mathrm{m/s^2}$.]

El plan a) Esquema con el origen en el punto de disparo. b) «Salva estrictamente el borde» significa que la trayectoria pasa *justo* por el borde, el punto (192, 0): como sale y llega a la misma altura, es el alcance. c) Después cae por el precipicio hasta $y = -160\,\mathrm{m}$: de ahí sale el tiempo y, con él, la x del impacto.



Resolución

Criterio e hipótesis: origen en el punto de disparo, x horizontal hacia el precipicio e y hacia arriba; $g = 9{,}8\,\mathrm{m/s^2}$ [no lo da el enunciado] y sin rozamiento del aire. El fondo del precipicio está en $y = -160\,\mathrm{m}$. Figura a escala.

Paso 1. Esquema y ecuaciones (a)

El esquema es la figura. Las ecuaciones, con v_0 desconocida:

$$x = v_0 \cos 37^\circ\, t \qquad y = v_0 \operatorname{sen} 37^\circ\, t - 4{,}9\, t^2$$

Paso 2. Pasa por el borde (192, 0) (b)

«Salva el borde» quiere decir que la trayectoria pasa justo por él. Como el borde está a la misma

altura que el punto de disparo, la distancia de 192 m es el alcance horizontal.

$$0 = t\,(v_0 \operatorname{sen} 37^\circ - 4{,}9\,t) \;\Rightarrow\; t = \frac{2v_0 \operatorname{sen} 37^\circ}{g} \qquad \textit{y = 0; descarto t = 0 (el disparo)}$$

$$192 = v_0 \cos 37^\circ \cdot \frac{2v_0 \operatorname{sen} 37^\circ}{g} = \frac{v_0^2 \operatorname{sen} 74^\circ}{g} \qquad \textit{sustituyo en } x = 192;\ 2\operatorname{sen}\alpha\cos\alpha = \operatorname{sen} 2\alpha$$

$$v_0^2 = \frac{192 \cdot 9{,}8}{\operatorname{sen} 74^\circ} = \frac{1881{,}6}{0{,}9613} = 1957{,}4 \qquad \textit{despejo}$$

$$\boxed{v_0 \approx 44{,}2 \text{ m/s}}$$

¿Por qué? *Es la fórmula del alcance, $R = v_0^2 \operatorname{sen} 2\alpha / g$, que aquí sí vale porque el borde está a la misma altura que el punto de disparo; la hemos deducido en vez de usarla de memoria.*

Paso 3. Llega al fondo (c)

Componentes: $v_{0x} = 44{,}24 \cos 37^\circ = 35{,}33$ m/s y $v_{0y} = 44{,}24 \operatorname{sen} 37^\circ = 26{,}63$ m/s.

$$-160 = 26{,}63\,t - 4{,}9\,t^2 \qquad \textit{el fondo está 160 m por debajo: } y = -160$$

$$4{,}9\,t^2 - 26{,}63\,t - 160 = 0 \qquad \textit{ordeno}$$

$$t = \frac{26{,}63 + \sqrt{26{,}63^2 + 4 \cdot 4{,}9 \cdot 160}}{9{,}8} = \frac{26{,}63 + 62{,}01}{9{,}8} = 9{,}04 \text{ s} \qquad \textit{H6; la otra raíz es negativa}$$

$$x = 35{,}33 \cdot 9{,}044 = 319{,}6 \text{ m} \qquad \textit{MRU en x}$$

$$\boxed{d = 319{,}6 - 192 \approx 128 \text{ m del pie del precipicio}}$$

¿Por qué? *Comprobación por energía: llega con $v = \sqrt{44{,}24^2 + 2 \cdot 9{,}8 \cdot 160} = 71{,}4\,m/s$, y con las componentes, $\sqrt{35{,}33^2 + (26{,}63 - 9{,}8 \cdot 9{,}044)^2} = 71{,}4\,m/s$. Coinciden.*

△ Error típico

Poner $y = +160$ en c): el fondo está *por debajo* del punto de disparo, así que con nuestro criterio es $y = -160$ m. Y medir d desde el punto de disparo (319,6 m) en lugar de desde el pie del precipicio.

Ejercicios de refuerzo. Problemas de oposiciones: encuentro de una pelota con un jugador (Cataluña 2021), tiro sobre un plano que baja (Baleares 2019) y el salto de longitud (Baleares 2018).

Problema 3.9 · Mate y tapón en baloncesto MEDIO

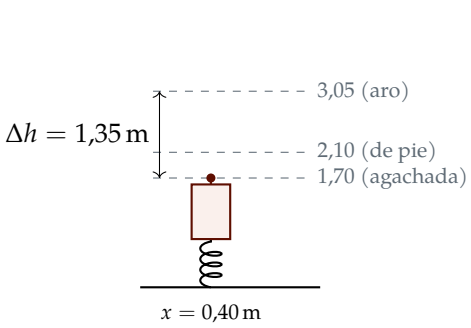
Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos Cataluña 2021 · Modelo 1, caso 3, cuestiones previas (traducción de FiQuiPedia del original en catalán)

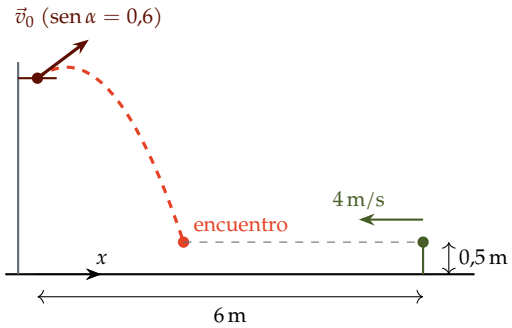
a) Una jugadora de baloncesto quiere realizar un mate. Para ello es necesario que llegue a tocar la cesta que está situada a 3,05 m, y sabemos que su altura con los brazos estirados es de 2,10 m. Si hacemos un símil entre las piernas de la jugadora de baloncesto y unos muelles, encuentra la constante del muelle por esta jugadora que tiene una masa de 66 kg y que cuando la compresión es de 40 cm, es capaz de hacer el mate. Supondremos que no hay pérdida de energía por fricción, por tanto, se conserva la energía.

b) En una segunda jugada una jugadora hace un tapón en el momento de encestar a 3,05 m de altura y la pelota sale oblicuamente hacia arriba con una velocidad que forma un ángulo respecto de la horizontal tal que el $\operatorname{sen}\alpha = 0{,}6$, y en el mismo momento un segundo jugador situado a 6 m de la canasta se dirige hacia la pelota a una velocidad constante de 4 m/s [y] la coge a 0,5 m del suelo. ¿A qué velocidad ha sido lanzada la pelota?

[Toma $g = 9{,}8\,\mathrm{m/s^2}$.]

El plan a) Conservación de la energía (tema 6) entre la jugadora agachada (piernas-muelle comprimidas, en reposo) y el punto más alto del salto (en reposo): la energía elástica se convierte en potencial gravitatoria. Lo delicado es calcular cuánto sube. b) Problema de **encuentro**: la pelota (tiro oblicuo) y el jugador (MRU) deben estar en el mismo sitio en el mismo instante. Dos ecuaciones (x igual, $y = 0{,}5\,\mathrm{m}$) con dos incógnitas (v_0 y t).





Resolución

Criterio e hipótesis: $g = 9{,}8\,\mathrm{m/s^2}$ [no lo da el enunciado]. a) La jugadora se trata como un bloque rígido: lo que suben sus manos es lo que sube su centro de masas; sin pérdidas por fricción (dato). b) Origen en el suelo, en la vertical de la canasta; x hacia el jugador, y hacia arriba. La pelota sale de $y_0 = 3{,}05\,\mathrm{m}$ hacia el jugador, con $\cos\alpha = \sqrt{1 - 0{,}6^2} = 0{,}8$.

Paso 1. Cuánto sube la jugadora (a)

Agachada, con las «piernas-muelle» comprimidas 40 cm, sus manos están a $2{,}10 - 0{,}40 = 1{,}70\,\mathrm{m}$. Para tocar la cesta deben llegar a 3,05 m:

$$\Delta h = 3{,}05 - 1{,}70 = 1{,}35\ \mathrm{m}$$

Paso 2. Balance de energía (a)

La jugadora parte del reposo (agachada) y en lo más alto también está en reposo: toda la energía elástica de las piernas se ha convertido en energía potencial gravitatoria.

$$\tfrac{1}{2}kx^2 = mg\,\Delta h \qquad \text{en los dos estados está parada: elástica} \to \text{gravitatoria}$$

$$k = \frac{2\,mg\,\Delta h}{x^2} = \frac{2\cdot 66\cdot 9{,}8\cdot 1{,}35}{0{,}40^2} = \frac{1746{,}4}{0{,}16} \qquad \text{despejo } k$$

$$\boxed{k \approx 1{,}09\cdot 10^4\ \text{N/m}}$$

¿Por qué? *Durante la compresión de 40 cm también hay que subir el cuerpo esos 40 cm hasta la posición de pie; por eso la altura que cuenta se mide desde la posición agachada y no desde los 2,10 m.*

Paso 3. Ecuaciones del encuentro (b)

Para que el jugador coja la pelota, los dos tienen que estar en el mismo sitio en el mismo instante. Escribo la posición de cada uno con el mismo origen y el mismo reloj.

$$x_p = 0{,}8\,v_0 t \qquad y_p = 3{,}05 + 0{,}6\,v_0 t - 4{,}9\,t^2 \qquad \text{pelota: tiro oblicuo}$$

$$x_j = 6 - 4t \qquad \text{jugador: MRU hacia la canasta}$$

$$0{,}8\,v_0 t = 6 - 4t \qquad 0{,}5 = 3{,}05 + 0{,}6\,v_0 t - 4{,}9\,t^2 \qquad \text{misma } x\text{; la coge a } 0{,}5\ m$$

Paso 4. Resuelvo el sistema (b)

Tengo dos ecuaciones y dos incógnitas, v_0 y t. Despejo $v_0 t$ de la primera y lo sustituyo en la segunda: queda una ecuación solo en t.

$$0{,}6\,v_0 t = \frac{0{,}6}{0{,}8}(6 - 4t) = 4{,}5 - 3t \qquad \text{despejo } v_0 t \text{ de la primera y multiplico por } 0{,}6$$

$$0{,}5 = 3{,}05 + 4{,}5 - 3t - 4{,}9t^2 \;\Rightarrow\; 4{,}9\,t^2 + 3t - 7{,}05 = 0 \qquad \text{sustituyo en la segunda y ordeno}$$

$$t = \frac{-3 + \sqrt{9 + 4\cdot 4{,}9\cdot 7{,}05}}{9{,}8} = \frac{-3 + 12{,}13}{9{,}8} = 0{,}932\ \text{s} \qquad \text{H6, raíz positiva}$$

$$v_0 = \frac{6 - 4\cdot 0{,}932}{0{,}8\cdot 0{,}932} \qquad \text{de la primera}$$

$$\boxed{v_0 \approx 3{,}0\ \text{m/s} \qquad (t \approx 0{,}93\ \text{s};\ \text{la coge a } 2{,}27\ \text{m de la canasta})}$$

¿Por qué? *El truco es el mismo que el de clase en el problema del patinador (tema 6): el producto $v_0 t$ aparece en las dos ecuaciones; se despeja entero de la primera y la segunda queda con la única incógnita t.*

△ Error típico

En a), usar como altura $3{,}05 - 2{,}10 = 0{,}95$ m: se olvida que parte agachada, 40 cm más abajo. Saldría $k = 7{,}7\cdot 10^3$ N/m.

Problema 3.10 · Tiro hacia un plano inclinado que baja MEDIO

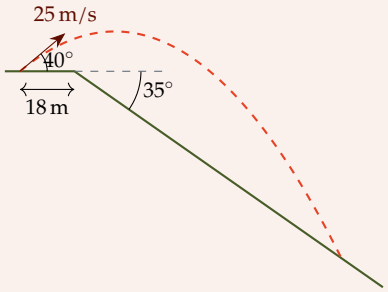
Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos Illes Balears 2019 · Tribunal de Menorca, problema B1 (traducción de FiQuiPedia del original en catalán)

Desde 18 m de distancia de un plano inclinado 35° hacia abajo se hace un tiro con una velocidad inicial de 25 m/s y un ángulo de salida de 40°. Despreciando cualquier tipo de rozamiento, calcula:

a) El valor del desplazamiento del proyectil después de 3,5 s.

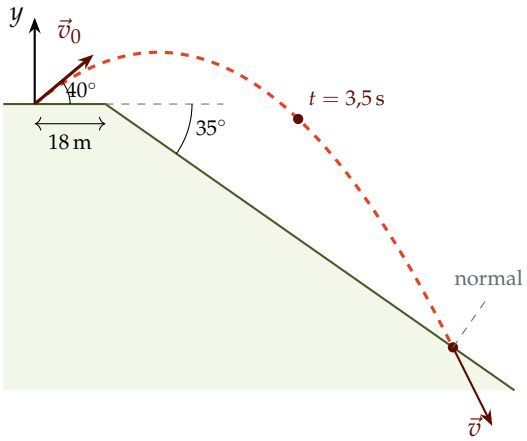
b) El tiempo entre la salida y el impacto.

c) La velocidad y ángulo de impacto con la normal del plano inclinado.



[Toma $g = 9{,}8\,\text{m/s}^2$.]

El plan Tiro oblicuo desde el suelo horizontal; 18 m más allá empieza un plano que baja 35°. a) Sustituyo $t = 3{,}5$ s, pero antes compruebo que el proyectil aún no ha chocado (que está por encima del plano). b) El impacto es el punto común de la parábola y la recta del plano: igualo la y del proyectil con la del plano en la misma x. c) Velocidad en el impacto; el ángulo con la normal sale comparando la inclinación de $\vec{v}$ con la del plano.



Resolución

Criterio e hipótesis: origen en el punto de lanzamiento, x horizontal hacia el plano, y hacia arriba; $g = 9{,}8\,\text{m/s}^2$ [no lo da el enunciado]. Interpreto que el proyectil se lanza desde el suelo horizontal, 18 m antes del punto donde empieza el plano. Figura a escala.

Paso 1. Ecuaciones del proyectil y del plano

$v_{0x} = 25\cos 40^\circ = 19{,}15\,\text{m/s}$ y $v_{0y} = 25\,\text{sen}\,40^\circ = 16{,}07\,\text{m/s}$.

$$x = 19{,}15\,t \qquad y = 16{,}07\,t - 4{,}9\,t^2 \qquad \textit{tiro oblicuo}$$

$$y_{\text{plano}} = -(x-18)\,\text{tg}\,35^\circ = -0{,}700\,(x-18) \quad (x \geq 18) \qquad \textit{recta que baja desde } (18,0)$$

Paso 2. Desplazamiento a los 3,5 s (a)

Antes de sustituir $t = 3{,}5\,\text{s}$ compruebo que el proyectil todavía no ha chocado con el plano: tiene que estar por encima de él.

$$x = 19{,}15 \cdot 3{,}5 = 67{,}0\,\text{m} \qquad y = 16{,}07 \cdot 3{,}5 - 4{,}9 \cdot 3{,}5^2 = -3{,}8\,\text{m} \qquad \textit{sustituyo } t = 3{,}5\,\text{s}$$

$$y_{\text{plano}}(67{,}0) = -0{,}700 \cdot 49{,}0 = -34{,}3\,\text{m} \qquad \textit{el plano está mucho más abajo: aún vuela}$$

$$\boxed{\Delta\vec{r} = 67{,}0\,\vec{\imath} - 3{,}8\,\vec{\jmath}\,\text{m} \qquad |\Delta\vec{r}| \approx 67{,}1\,\text{m}}$$

Paso 3. Impacto (b)

El impacto es el punto en que la parábola corta a la recta del plano: igualo la altura del proyectil con la del plano en la misma x.

$$16{,}07\,t - 4{,}9\,t^2 = -0{,}700\,(19{,}15\,t - 18) \qquad \textit{$y_{proyectil} = y_{plano}$ en la misma } x$$

$$4{,}9\,t^2 - 29{,}48\,t + 12{,}60 = 0 \qquad \textit{quito el paréntesis y ordeno}$$

$$t = \frac{29{,}48 \pm \sqrt{29{,}48^2 - 4 \cdot 4{,}9 \cdot 12{,}60}}{9{,}8} = \frac{29{,}48 \pm 24{,}94}{9{,}8} \qquad \textit{H6}$$

Las soluciones son $t = 0{,}46\,\text{s}$ y $t = 5{,}55\,\text{s}$. La primera da $x = 8{,}9\,\text{m} < 18\,\text{m}$: ahí no hay plano (es el corte con su prolongación imaginaria, por encima del suelo). Vale la segunda.

$$\boxed{t \approx 5{,}55\,\text{s} \qquad (\text{en } x = 106{,}3\,\text{m},\ y = -61{,}9\,\text{m})}$$

Otra forma de plantearlo: con la ecuación de la trayectoria — PARA PROFUNDIZAR

Sin el tiempo: la parábola es $y = x\,\text{tg}\,40^\circ - \dfrac{g\,x^2}{2 \cdot 19{,}15^2} = 0{,}8391\,x - 0{,}01336\,x^2$. La corto con la recta del plano:

$$0{,}8391\,x - 0{,}01336\,x^2 = -0{,}700\,x + 12{,}60 \;\Rightarrow\; 0{,}01336\,x^2 - 1{,}539\,x + 12{,}60 = 0 \;\Rightarrow\; x = 106{,}3\,\text{m}$$

(la otra raíz, $x = 8{,}9\,\text{m}$, no está sobre el plano), y $t = x/v_{0x} = 5{,}55\,\text{s}$. **Cuándo conviene:** si piden el punto de impacto o la distancia sobre el plano ($\frac{106{,}3-18}{\cos 35^\circ} = 107{,}9\,\text{m}$); como aquí piden el tiempo, el planteamiento con t es más directo.

Paso 4. Velocidad y ángulo de impacto (c)

Calculo la velocidad en el instante del impacto y su inclinación. Comparándola con la inclinación del plano obtengo el ángulo con la normal.

$$v_x = 19{,}15\,\text{m/s} \qquad v_y = 16{,}07 - 9{,}8 \cdot 5{,}553 = -38{,}35\,\text{m/s} \qquad \textit{componentes en el impacto}$$

$$|\vec{v}| = \sqrt{19{,}15^2 + 38{,}35^2} \qquad \textit{módulo}$$

$$\text{tg}\,\beta = \frac{38{,}35}{19{,}15} = 2{,}003 \;\Rightarrow\; \beta = 63{,}5^\circ \text{ bajo la horizontal} \qquad \textit{dirección (H5)}$$

Problema 9.9 · Carrito: plano, tramo horizontal y rizo MEDIO

Oposiciones de Física y Química · Oposiciones Comunidad Valenciana 2019 · Física, problema 1 (es el problema 1 de la fase local de la Olimpiada de Física de la Universidad de Jaén, 2014)

El carrito de la figura de masa $m = 0{,}2\,\text{kg}$, se desliza por un plano inclinado 30° y al llegar a la base del mismo recorre la pista horizontal indicada. Si ambos tramos tienen la misma longitud y existe un coeficiente de rozamiento $\mu = 0{,}1$ en el recorrido, determinar:

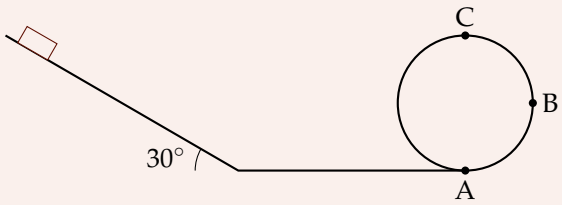
a) la longitud de cada parte si llega al final de dicha pista (punto A) con una velocidad de 10 m/s.

A continuación penetra en un bucle vertical de radio R en el cual ya no existe rozamiento. Se pide:

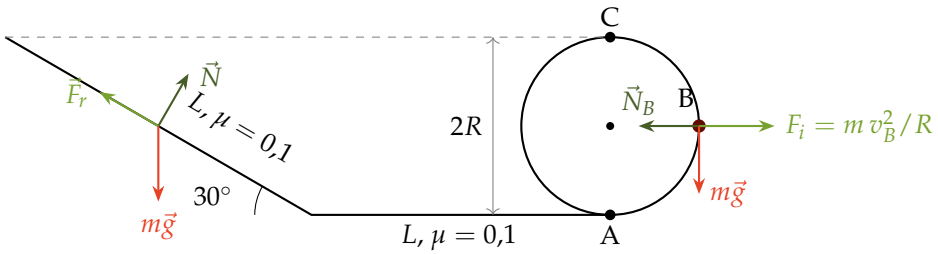
b) La velocidad que tiene al pasar por el punto B y la fuerza que ejerce el carrito en este punto sobre el suelo.

c) ¿Logrará superar el punto C? En caso afirmativo, ¿qué velocidad lleva?

d) Determinar la velocidad mínima que debe poseer en A para superar el punto C.



El plan a) Del punto de partida a A hay rozamiento: $W_{FNC} = \Delta E_M$, con el rozamiento distinto en el plano ($\mu mg\cos 30°$) y en el tramo horizontal (μmg). b) En el bucle no hay rozamiento: energía de A a B, y en B, equilibrio radial en el SRNI (allí solo la normal es radial). c) y d) La condición para pasar por C es $N_C \geq 0$, es decir, $v_C^2 \geq gR$; con la energía de A a C. El enunciado no da R: lo saco del dibujo.



Resolución

Criterio e hipótesis: $h = 0$ en la pista horizontal; el carrito parte del reposo en lo alto del plano (a una altura $L\,\text{sen}\,30°$). Tratamos el carrito como una partícula. Del dibujo: lo alto del bucle (C) está a la altura del punto de partida, $2R = L\,\text{sen}\,30°$.

Paso 1. Longitud de cada tramo (a)

Aplico el teorema trabajo–energía desde la salida hasta A: hay rozamiento en el plano y en el tramo horizontal, con normales distintas.

$$W_{FNC} = -\mu\, m\, g\cos 30°\, L - \mu\, m\, g\, L \qquad \textit{rozamiento en el plano y en la horizontal}$$

$$W_{FNC} = \Delta E_M = \tfrac{1}{2} m\, v_A^2 - m\, g\, L\,\text{sen}\,30° \qquad \textit{parte del reposo; acaba en } h = 0$$

$$g\, L\,(\text{sen}\,30° - \mu\cos 30° - \mu) = \tfrac{1}{2} v_A^2 \qquad \textit{igualo, simplifico } m \textit{ y agrupo}$$

$$\text{sen}\,30° - 0{,}1\cos 30° - 0{,}1 = 0{,}5 - 0{,}0866 - 0{,}1 = 0{,}3134 \qquad \textit{el paréntesis}$$

$$L = \frac{v_A^2}{2g\,(\operatorname{sen} 30^\circ - \mu \cos 30^\circ - \mu)} = \frac{100}{2 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}3134} \approx 16{,}3 \text{ m}$$

¿Por qué? *En el plano la normal es $mg\cos 30^\circ$ (equilibrio perpendicular al plano), y en la horizontal, mg: por eso los dos rozamientos son distintos.*

Paso 2. Radio del bucle (del dibujo)

Según el dibujo, el punto más alto del bucle está a la misma altura que el punto de partida.

$$2R = L \operatorname{sen} 30^\circ = 16{,}28 \cdot 0{,}5 = 8{,}14 \text{ m} \;\Rightarrow\; R = 4{,}07 \text{ m} \qquad \text{C a la altura del punto de partida}$$

Paso 3. Punto B: velocidad y fuerza sobre la pista (b)

De A a B el carrito sube un radio. En B el peso es tangente, así que la normal es toda la fuerza centrípeta.

$$v_B^2 = v_A^2 - 2\,g\,R = 100 - 2 \cdot 9{,}8 \cdot 4{,}07 = 20{,}2 \qquad \text{energía de A a B: sube } R$$

$$N_B - F_i = 0 \;\Rightarrow\; N_B = m\,\frac{v_B^2}{R} = 0{,}2 \cdot \frac{20{,}2}{4{,}07} \qquad \text{SRNI en B: el peso es tangente}$$

$v_B \approx 4{,}5$ m/s $N_B \approx 0{,}99$ N (el carrito empuja la pista hacia fuera)

Paso 4. ¿Supera C? (c) y velocidad mínima en A (d)

Arriba (C), el carrito no se cae si la normal no es negativa. Con la energía de A a C convierto esa condición en una condición sobre v_A.

$$N_C + m\,g - m\,\frac{v_C^2}{R} = 0 \;\Rightarrow\; N_C \geq 0 \iff v_C^2 \geq g\,R \qquad \text{SRNI en C}$$

$$v_A^2 - 4\,g\,R \geq g\,R \;\Rightarrow\; v_A^2 \geq 5\,g\,R \qquad \text{energía de A a C: sube } 2R$$

$$v_{A,\min} = \sqrt{5 \cdot 9{,}8 \cdot 4{,}07} = \sqrt{199} \qquad \text{sustituyo}$$

$v_{A,\min} = \sqrt{5gR} \approx 14{,}1$ m/s > 10 m/s : no supera C

¿Por qué? *Era de esperar: C está a la misma altura que el punto de partida y el carrito ha perdido energía por rozamiento. Ni siquiera llegaría a C con velocidad nula ($v_A^2 - 4gR = 100 - 159{,}5 < 0$): se despega de la pista antes, entre B y C.*

Ojo con los datos del enunciado PARA PROFUNDIZAR

El enunciado no da el radio R del bucle. La solución publicada lo saca del dibujo (lo alto del bucle a la altura del punto de partida), y así lo hacemos aquí. En el examen, si falta un dato, di de dónde lo tomas o deja el resultado en función de R: $v_B = \sqrt{v_A^2 - 2gR}$, $N_B = m\,(v_A^2 - 2gR)/R$ y $v_{A,\min} = \sqrt{5gR}$. Con $v_A = 10$ m/s, el carrito superaría C solo si $R \leq v_A^2/(5g) = 2{,}04$ m.

Explicación ampliada: para entenderlo de verdad

Qué pide de verdad

El carrito baja un plano, cruza un tramo horizontal (los dos con rozamiento) y entra en un rizo sin rozamiento. Hay que saber con qué velocidad llega al rizo y si consigue dar la vuelta completa.

Primera idea: dos rozamientos distintos

El coeficiente es el mismo en los dos tramos, pero la fuerza de rozamiento no, porque la normal es distinta. En el plano inclinado, la normal solo compensa la componente del peso perpendicular al plano, $mg\cos 30°$. En el tramo horizontal compensa el peso entero, mg. Por eso en el balance aparecen $\mu mg\cos 30°\, L$ y $\mu mg\, L$.

Segunda idea: en el rizo hay que mirar la normal

En el rizo la pista solo puede empujar al carrito hacia el centro, nunca tirar de él. En lo más alto (C), la fuerza hacia el centro la ponen el peso y la normal: $mg + N_C = mv_C^2/R$. El carrito pasa por C pegado a la pista si $N_C \geq 0$, es decir, si $v_C^2 \geq gR$. Con la energía, eso exige llegar a A con $v_A^2 \geq 5\,gR$.

Con números ($R = 4{,}07$ m, $v_A = 10$ m/s)

punto del rizo	altura	qué pasa
A (entrada)	0	10 m/s
B (a la altura del centro)	4,07 m	4,5 m/s; la pista empuja con 0,99 N
punto de despegue	4,76 m	2,6 m/s; la normal se anula y se separa
C (arriba)	8,14 m	no llega: le harían falta 14,1 m/s en A

El carrito se despega un poco por encima de B, unos 10° por encima de la horizontal del centro, y sigue en tiro parabólico por dentro del rizo. Ni siquiera llegaría a la altura de C con velocidad cero: C está a la misma altura que el punto de partida, y por el camino el rozamiento se ha llevado energía.

La idea con palabras

En un rizo no basta con llegar arriba con algo de energía: hay que llegar con la velocidad suficiente para que la pista siga haciendo falta. Por eso la condición es $v_A^2 \geq 5gR$ y no $v_A^2 \geq 4gR$ (lo que haría falta para subir $2R$ sin más).

Errores frecuentes

- **Usar la misma normal en el plano y en el tramo horizontal.**
- **Exigir solo que la energía alcance para subir** $2R$ ($v_C \geq 0$), olvidando la condición $N_C \geq 0$.
- **Calcular en B la normal con el peso.** En B el peso es tangente a la pista y no interviene en la dirección radial.

02

Electromagnetismo

Apuntes y problemas de electromagnetismo

Electrostática, corriente, campo magnético, inducción, corriente alterna y ecuaciones de Maxwell, en 12 temas (con un tema 0 de repaso de matemáticas). Tiene guía general, hoja de ruta en cada tema y una figura del planteamiento en todos los problemas.

12 temas **226 problemas** **85 de oposiciones**

En esta muestra

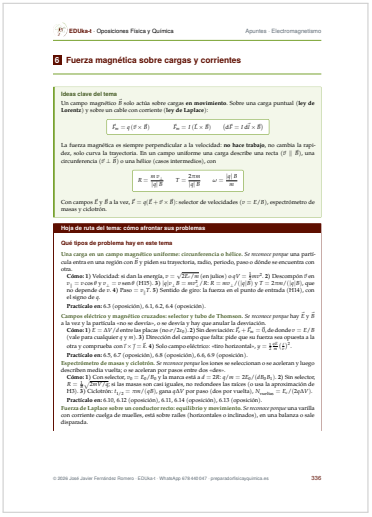
Apertura del tema 6: ideas clave y hoja de ruta 16

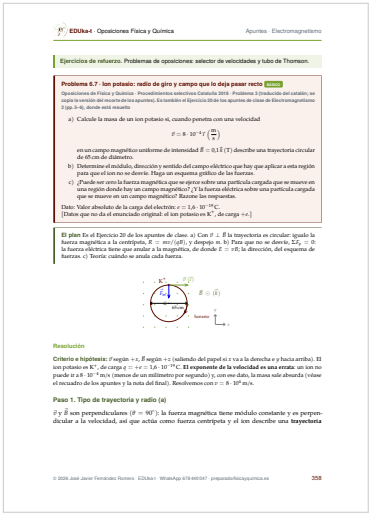
Teoría: el tesla y la fuerza de Lorentz 18

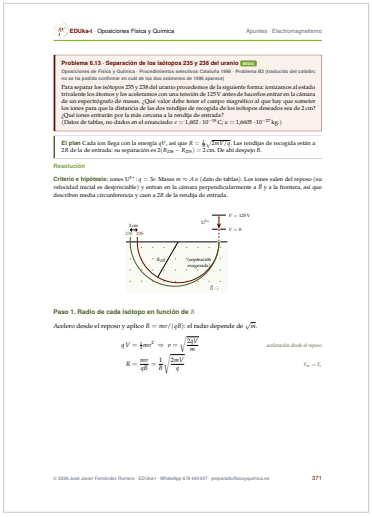
Problema 6.7 · Ion potasio en un selector de velocidades (Cataluña 2018), con «Ojo con los datos» 19

Problema 6.13 · Separación de los isótopos del uranio (Cataluña 1996), con «Otra forma de plantearlo» 22

Teoría: el ciclotrón 24







6 Fuerza magnética sobre cargas y corrientes

Ideas clave del tema

Un campo magnético $\vec{B}$ solo actúa sobre cargas **en movimiento**. Sobre una carga puntual (**ley de Lorentz**) y sobre un cable con corriente (**ley de Laplace**):

$$\vec{F}_m = q\,(\vec{v}\times\vec{B}) \qquad \vec{F}_m = I\,(\vec{L}\times\vec{B}) \qquad (\mathrm{d}\vec{F} = I\,\mathrm{d}\vec{l}\times\vec{B})$$

La fuerza magnética es siempre perpendicular a la velocidad: **no hace trabajo**, no cambia la rapidez, solo curva la trayectoria. En un campo uniforme una carga describe una recta ($\vec{v}\parallel\vec{B}$), una circunferencia ($\vec{v}\perp\vec{B}$) o una hélice (casos intermedios), con

$$R = \frac{m\,v_\perp}{|q|\,B} \qquad T = \frac{2\pi m}{|q|\,B} \qquad \omega = \frac{|q|\,B}{m}$$

Con campos $\vec{E}$ y $\vec{B}$ a la vez, $\vec{F} = q(\vec{E}+\vec{v}\times\vec{B})$: selector de velocidades ($v = E/B$), espectrómetro de masas y ciclotrón.

Hoja de ruta del tema: cómo afrontar sus problemas

Qué tipos de problema hay en este tema

Una carga en un campo magnético uniforme: circunferencia o hélice. *Se reconoce porque* una partícula entra en una región con $\vec{B}$ y piden su trayectoria, radio, periodo, paso o dónde se encuentra con otra.

Cómo: **1)** Velocidad: si dan la energía, $v = \sqrt{2E_c/m}$ (en julios) o $qV = \frac{1}{2}mv^2$. **2)** Descompón $\vec{v}$ en $v_\parallel = v\cos\theta$ y $v_\perp = v\,\mathrm{sen}\,\theta$ (H15). **3)** $|q|v_\perp B = mv_\perp^2/R$: $R = mv_\perp/(|q|B)$ y $T = 2\pi m/(|q|B)$, que no depende de v. **4)** Paso $= v_\parallel T$. **5)** Sentido de giro: la fuerza en el punto de entrada (H14), con el signo de q.

Practícalo en: 6.3 (oposición), 6.1, 6.2, 6.4 (oposición).

Campos eléctrico y magnético cruzados: selector y tubo de Thomson. *Se reconoce porque* hay $\vec{E}$ y $\vec{B}$ a la vez y la partícula «no se desvía», o se desvía y hay que anular la desviación.

Cómo: **1)** $E = \Delta V/d$ entre las placas (no $\sigma/2\varepsilon_0$). **2)** Sin desviación: $\vec{F}_e + \vec{F}_m = \vec{0}$, de donde $v = E/B$ (vale para cualquier q y m). **3)** Dirección del campo que falta: pide que su fuerza sea opuesta a la otra y comprueba con $\vec{\imath}\times\vec{\jmath} = \vec{k}$. **4)** Solo campo eléctrico: «tiro horizontal», $y = \frac{1}{2}\frac{qE}{m}\left(\frac{\ell}{v}\right)^2$.

Practícalo en: 6.5, 6.7 (oposición), 6.8 (oposición), 6.6, 6.9 (oposición).

Espectrómetro de masas y ciclotrón. *Se reconoce porque* los iones se seleccionan o se aceleran y luego describen media vuelta; o se aceleran por pasos entre dos «des».

Cómo: **1)** Con selector, $v_0 = E_0/B_0$ y la marca está a $d = 2R$: $q/m = 2E_0/(dB_0B_1)$. **2)** Sin selector, $R = \frac{1}{B}\sqrt{2mV/q}$; si las masas son casi iguales, no redondees las raíces (o usa la aproximación de H3). **3)** Ciclotrón: $t_{1/2} = \pi m/(qB)$, gana $q\Delta V$ por paso (dos por vuelta), $N_{\text{vueltas}} = E_c/(2q\Delta V)$.

Practícalo en: 6.10, 6.12 (oposición), 6.11, 6.14 (oposición), 6.13 (oposición).

Fuerza de Laplace sobre un conductor recto: equilibrio y movimiento. *Se reconoce porque* una varilla con corriente cuelga de muelles, está sobre raíles (horizontales o inclinados), en una balanza o sale disparada.

Cómo: 1) I con la ley de Ohm si hace falta. **2)** $\vec{F} = I\,\vec{L} \times \vec{B}$: módulo $ILB\,\mathrm{sen}\,\theta$ y sentido con la mano derecha. **3)** Diagrama de fuerzas y $\Sigma F = 0$ ($\mathrm{o} = ma$); en un plano inclinado con $\vec{B}$ vertical la fuerza es horizontal: proyéctala. **4)** Pulso breve: impulso LBQ. Si se mueve dentro de $\vec{B}$, aparece una fem BLv que se opone (o usa el balance de potencias).

Practícalo en: 6.15, 6.16, 6.17 (oposición), 6.18 (oposición), 6.21 (oposición; usa el campo de un hilo, tema 7), 6.19 (oposición), 6.20 (oposición).

Cables curvos y espiras: fuerza total y par. *Se reconoce porque* el cable tiene tramos curvos o forma una espira o bobina que puede girar.

Cómo: 1) Con $\vec{B}$ uniforme, atajo de la cuerda: $\vec{F} = I\,\overrightarrow{AC} \times \vec{B}$ (nula si el circuito es cerrado). **2)** Si lo piden integrando: $\mathrm{d}l = R\,\mathrm{d}\theta$ (H16), componente a componente, y el signo sale de la dirección de $\mathrm{d}\vec{F}$. **3)** Espira: $\mu = NIS$, $M = \mu B\,\mathrm{sen}\,\theta$ y $U = -\mu B\cos\theta$, con θ el ángulo de la *normal* con $\vec{B}$.

Practícalo en: 6.22, 6.23, 6.24.

Antes de empezar, comprueba que sabes

- Hacer un producto vectorial con el determinante y con la regla de la mano derecha (herramienta H14; tema 0, apartado «Vectores»).
- Descomponer un vector en componentes paralela y perpendicular a otro (herramienta H15).
- Plantear el MCU, $F = mv^2/R$, y la energía con $qV = \frac{1}{2}mv^2$ (tema 2); el campo de un condensador, $E = \Delta V/d$ (tema 4), y el MAS (herramienta H4).

Los errores que más se repiten

- Escribir $\vec{B} \times \vec{v}$ en vez de $\vec{v} \times \vec{B}$, u olvidar dar la vuelta a la fuerza si la carga es negativa.
- Usar v en vez de $v\,\mathrm{sen}\,\theta$ en el radio de la hélice, o en vez de $v\cos\theta$ en el paso.
- Tomar $E = \sigma/(2\varepsilon_0)$ entre las placas de un condensador: eso es el campo de una sola placa.
- Medir el ángulo del par desde el plano de la espira y no desde su normal.

Cómo comprobar tu resultado

- **Unidades:** q/m en C/kg; $E_0/(RB_0B_1)$ da C/kg; $1\,\mathrm{T} = 1\,\mathrm{N/(A{\cdot}m)}$.
- **Orden de magnitud:** un ion pesa $A \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg; si sale otra cosa, busca una errata en el dato. Si $v > 0{,}1\,c$, avisa de que el cálculo clásico deja de ser exacto.
- **Energía:** la fuerza magnética no hace trabajo; si tu partícula gana o pierde rapidez solo con $\vec{B}$, hay un error.
- **Sentido y geometría:** dibuja $\vec{v}$, $\vec{B}$ y $\vec{F}$ en el punto de entrada; en el selector, las dos fuerzas son opuestas; ¿cabe el haz entre las placas?

Itinerario recomendado

- **Primera vuelta (imprescindibles):** 6.1, 6.5, 6.10, 6.14, 6.15, 6.22, 6.24.
- **Segunda vuelta:** 6.2, 6.6, 6.11, 6.16, 6.23, 6.13, 6.19.
- **Para el examen (oposición):** 6.3, 6.4, 6.7, 6.8, 6.9, 6.12, 6.13, 6.14, 6.17, 6.18, 6.19, 6.20, 6.21.
- **Si vas justo de tiempo:** 6.1, 6.4, 6.5, 6.10, 6.14, 6.18, 6.22.

Al terminar el tema, deberías ser capaz de

- ☐ Calcular la fuerza magnética sobre una carga o un cable, en módulo, dirección y sentido.
- ☐ Calcular el radio, el periodo y el paso de la trayectoria de una carga en un campo uniforme, y dibujar su sentido de giro.
- ☐ Diseñar un selector de velocidades y obtener q/m con un espectrómetro.
- ☐ Explicar el ciclotrón y calcular su tiempo de media vuelta, la energía por paso y el número de vueltas.
- ☐ Plantear el equilibrio o el movimiento de una varilla con corriente en un campo magnético.
- ☐ Calcular el momento magnético y el par sobre una espira, y justificar cuál es su posición de equilibrio estable.

6.1 El campo magnético y su unidad, el tesla

Igual que el campo eléctrico se define por la fuerza que hace sobre una carga *en reposo*, el **campo magnético** $\vec{B}$ (también llamado *inducción magnética*) se define por la fuerza que hace sobre una carga *en movimiento*. Para que una región del espacio «tenga» campo magnético basta con un imán o con una corriente cerca; en este tema damos $\vec{B}$ por conocido y estudiamos qué hace sobre cargas y corrientes.

Para que aparezca la fuerza magnética hacen falta dos cosas a la vez:

- un **campo magnético** $\vec{B}$, y
- una **partícula cargada en movimiento** (con velocidad $\vec{v}$ respecto del campo).

Una carga en reposo dentro de un imán no nota nada; un neutrón que atraviesa el imán, tampoco.

La unidad de B en el SI es el **tesla** (T). De la ley de Lorentz, $F = qvB$ cuando $\vec{v} \perp \vec{B}$:

$$1\,\mathrm{T} = \frac{1\,\mathrm{N}}{1\,\mathrm{C}\cdot 1\,\mathrm{m/s}} = 1\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}\cdot\mathrm{m}}$$

Un tesla es el campo que ejerce una fuerza de 1 N sobre una carga de 1 C que se mueve perpendicularmente a él a 1 m/s (o sobre 1 m de cable que lleva 1 A). Es un campo *grande*: por eso se usa también el **gauss**, $1\,\mathrm{G} = 10^{-4}\,\mathrm{T}$.

Situación	B aproximado
Campo magnético terrestre en la superficie	$5\cdot 10^{-5}$ T (0,5 G)
Imán de nevera (en su superficie)	$5\cdot 10^{-3}$ T
Imán de neodimio, entre los polos de un electroimán de laboratorio	0,5–1 T
Resonancia magnética de un hospital	1,5–3 T
Imanes superconductores de los aceleradores (LHC)	8 T

6.2 Fuerza magnética sobre una carga en movimiento: ley de Lorentz

La fuerza que un campo $\vec{B}$ ejerce sobre una carga q que se mueve con velocidad $\vec{v}$ es

$$\vec{F}_m = q\,(\vec{v}\times\vec{B}) \qquad \text{(ley de Lorentz; producto vectorial)}$$

Todas sus propiedades salen del producto vectorial (H14):

- $\vec{F}_m$ es **perpendicular a** $\vec{v}$ y **perpendicular a** $\vec{B}$. A diferencia de la fuerza eléctrica, *no* apunta en la dirección del campo.
- Su módulo es $|\vec{F}_m| = |q|\,v\,B\,\operatorname{sen}\theta$, con $\theta = \widehat{\vec{v},\vec{B}}$: es nula si la carga se mueve paralela al campo y máxima si se mueve perpendicular a él.
- Su sentido depende del **signo de la carga**: un electrón y un protón con la misma velocidad sienten fuerzas opuestas.

Para calcular $\vec{F}_m$ hay dos opciones, y conviene dominar las dos.

Ejercicios de refuerzo. Problemas de oposiciones: selector de velocidades y tubo de Thomson.

Problema 6.7 · Ion potasio: radio de giro y campo que lo deja pasar recto BÁSICO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos Cataluña 2018 · Problema 3 (traducido del catalán; se copia la versión del recorte de los apuntes). Es también el Ejercicio 20 de los apuntes de clase de Electromagnetismo 2 (pp. 5–6), donde está resuelto

a) Calcule la masa de un ion potasio si, cuando penetra con una velocidad

$$\vec{v} = 8 \cdot 10^{-4}\,\vec{\imath}\ \left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)$$

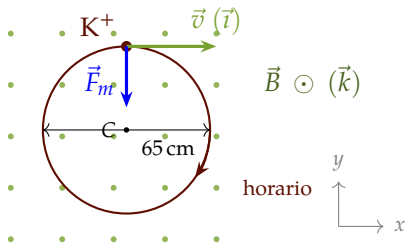
en un campo magnético uniforme de intensidad $\vec{B} = 0{,}1\,\vec{k}$ (T) describe una trayectoria circular de 65 cm de diámetro.

b) Determine el módulo, dirección y sentido del campo eléctrico que hay que aplicar a esta región para que el ion no se desvíe. Haga un esquema gráfico de las fuerzas.

c) ¿Puede ser cero la fuerza magnética que se ejerce sobre una partícula cargada que se mueve en una región donde hay un campo magnético? ¿Y la fuerza eléctrica sobre una partícula cargada que se mueve en un campo magnético? Razone las respuestas.

Dato: Valor absoluto de la carga del electrón: $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.
[Datos que no da el enunciado original: el ion potasio es K^+, de carga $+e$.]

El plan Es el Ejercicio 20 de los apuntes de clase. a) Con $\vec{v} \perp \vec{B}$ la trayectoria es circular: igualo la fuerza magnética a la centrípeta, $R = mv/(qB)$, y despejo m. b) Para que no se desvíe, $\Sigma F_y = 0$: la fuerza eléctrica tiene que anular a la magnética, de donde $E = vB$; la dirección, del esquema de fuerzas. c) Teoría: cuándo se anula cada fuerza.



Resolución

Criterio e hipótesis: $\vec{v}$ según $+x$, $\vec{B}$ según $+z$ (saliendo del papel si x va a la derecha e y hacia arriba). El ion potasio es K^+, de carga $q = +e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. **El exponente de la velocidad es una errata**: un ion no puede ir a $8 \cdot 10^{-4}$ m/s (menos de un milímetro por segundo) y, con ese dato, la masa sale absurda (véase el recuadro de los apuntes y la nota del final). Resolvemos con $v = 8 \cdot 10^{4}$ m/s.

Paso 1. Tipo de trayectoria y radio (a)

$\vec{v}$ y $\vec{B}$ son perpendiculares ($\theta = 90°$): la fuerza magnética tiene módulo constante y es perpendicular a la velocidad, así que actúa como fuerza centrípeta y el ion describe una **trayectoria**

circular (MCU).

$$|\vec{F}_m| = |\vec{F}_c| \qquad \text{la fuerza magnética es la centrípeta}$$

$$q\,v\,B\,\operatorname{sen}90^\circ = m\,\frac{v^2}{R} \;\Rightarrow\; R = \frac{m\,v}{q\,B} \qquad \text{simplifico una } v$$

$$R = \frac{0{,}65}{2} = 0{,}325\ \text{m} \qquad \text{el enunciado da el diámetro}$$

Paso 2. Masa del ion

De $R = mv/(qB)$ despejo la masa del ion.

$$m = \frac{R\,q\,B}{v} \qquad \text{despejo}$$

$$m = \frac{0{,}325 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}1}{8 \cdot 10^{4}} = 6{,}5 \cdot 10^{-26}\ \text{kg} \qquad \text{sustituyo}$$

$$\frac{m}{u} = \frac{6{,}5 \cdot 10^{-26}}{1{,}66 \cdot 10^{-27}} = 39 \qquad \text{comprobación en unidades de masa atómica}$$

a)

$$\boxed{m = 6{,}5 \cdot 10^{-26}\ \text{kg}\ \ (\approx 39\,u:\ \text{es el potasio, } {}^{39}\text{K}^{+})}$$

¿Por qué? *Comprobar el orden de magnitud es obligatorio: la masa de un ion es A veces $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg, con A entre 1 y unos 250. Que salga ≈ 39, la masa atómica del potasio, confirma que el dato bueno es $8 \cdot 10^{4}$ m/s.*

△ Error típico

En los apuntes de clase se sustituyó la velocidad tal como viene impresa, $8 \cdot 10^{-4}$ m/s, y salió $m = \dfrac{0{,}325 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}1}{8 \cdot 10^{-4}} = 6{,}5 \cdot 10^{-18}$ kg. La cuenta está bien hecha, pero el resultado es imposible para un ion: son unos $4 \cdot 10^{9}\,u$, más que un virus entero. Cuando una masa atómica sale fuera de 10^{-27}–10^{-25} kg, hay que sospechar de un dato y buscar la errata (aquí, el signo del exponente) antes de seguir.

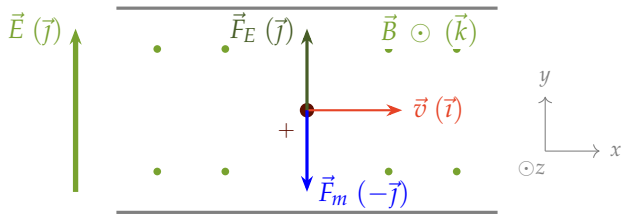
Paso 3. Esquema de fuerzas (b)

Sobre el ion actúan la fuerza magnética y la eléctrica (el peso, del orden de 10^{-25} N, es despreciable). La magnética, con la regla de la mano o con los unitarios:

$$\vec{F}_m = q\,(\vec{v} \times \vec{B}) = q\,v\,B\,(\vec{\imath} \times \vec{k}) = -q\,vB\,\vec{\jmath} \qquad \vec{\imath} \times \vec{k} = -\vec{\jmath}$$

$$\vec{F}_m = -1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 8 \cdot 10^{4} \cdot 0{,}1\,\vec{\jmath} = -1{,}28 \cdot 10^{-15}\,\vec{\jmath}\ \text{N} \qquad \text{hacia abajo}$$

Para que el ion no se desvíe, la fuerza eléctrica tiene que ir hacia arriba ($+\vec{\jmath}$); como $q > 0$, $\vec{E}$ también va según $+\vec{\jmath}$.



Paso 4. Campo eléctrico (b)

Para que el ion no se desvíe, la suma de fuerzas transversales debe ser nula.

$$\Sigma F_y = 0 \;\Rightarrow\; -F_m + F_E = 0 \qquad \text{el ion no se desvía}$$
$$-q\,v\,B + q\,E = 0 \qquad F_E = qE,\ F_m = qvB$$
$$E = v\,B = 8\cdot 10^4 \cdot 0{,}1 \qquad \text{la carga se simplifica}$$

b)

$$\vec{E} = 8\cdot 10^3\,\vec{\jmath}\ \text{N/C} \quad (\text{eje } Y,\ \text{sentido positivo; perpendicular a } \vec{v} \text{ y a } \vec{B})$$

¿Por qué? *Es un selector de velocidades: $\vec{E}$, $\vec{B}$ y $\vec{v}$ mutuamente perpendiculares y $E = vB$, que no depende de q ni de m. Con el dato literal saldría $E = 8\cdot 10^{-4}\cdot 0{,}1 = 8\cdot 10^{-5}\,N/C$, como en los apuntes.*

Paso 5. ¿Puede anularse cada fuerza? (c)

Analizo cuándo se anula cada fuerza por separado.

$$F_m = |q|\,v\,B\,\operatorname{sen}\theta = 0 \;\Leftrightarrow\; \operatorname{sen}\theta = 0 \;\Leftrightarrow\; \theta = 0^\circ \text{ o } 180^\circ \qquad \text{con } q\neq 0,\ v\neq 0,\ B\neq 0$$
$$\vec{F}_E = q\,\vec{E} = \vec{0} \;\Leftrightarrow\; q = 0 \text{ o } \vec{E} = \vec{0} \qquad \text{no depende de } \vec{v} \text{ ni de } \vec{B}$$

c)

Sí: $F_m = 0$ si la partícula se mueve en la dirección de $\vec{B}$ ($\vec{v} \parallel \vec{B}$).
$F_E = 0$ solo si no hay campo eléctrico (para $q \neq 0$), se mueva como se mueva.

¿Por qué? *La fuerza eléctrica «no se entera» de que hay un campo magnético ni de cómo se mueve la carga: solo depende de q y de $\vec{E}$. En una región donde solo hay un campo magnético* constante, *$\vec{E} = \vec{0}$ y la fuerza eléctrica es nula. Ojo: si $\vec{B}$ varía con el tiempo, aparece un campo eléctrico inducido (ley de Faraday, tema 8) y entonces sí hay fuerza eléctrica, incluso sobre cargas en reposo.*

Ojo con los datos del enunciado

PARA PROFUNDIZAR

Qué falla. El enunciado (y el recorte de los apuntes) da $\vec{v} = 8\cdot 10^{-4}\,\vec{\imath}\,$m/s. Con ese valor, la masa del «ion» sale $6{,}5\cdot 10^{-18}$ kg, unos $4\cdot 10^9\,u$, y el campo del selector $8\cdot 10^{-5}$ N/C. Ninguna de las dos cosas tiene sentido: incluso a temperatura ambiente un ion K^+ se mueve por agitación térmica a unos 400 m/s.
Valor real. La masa del $^{39}K^+$ es $39{,}1\,u = 6{,}49\cdot 10^{-26}$ kg. Para que describa una circunferencia de 32,5 cm de radio en 0,1 T necesita $v = qBR/m = 8{,}0\cdot 10^4$ m/s: el dato correcto es $8\cdot 10^4$ m/s (en el enunciado sobra el signo menos del exponente). Esa velocidad corresponde a $E_c = \frac{1}{2}mv^2 = 2{,}1\cdot 10^{-16}\,\text{J} \approx 1{,}3$ keV, la de un ion acelerado con 1,3 kV, típica de un espectrómetro.
Qué saldría. Con $8\cdot 10^4$ m/s: $m = 6{,}5\cdot 10^{-26}$ kg ($\approx 39\,u$) y $E = 8\cdot 10^3$ N/C. Con el dato literal: $m = 6{,}5\cdot 10^{-18}$ kg y $E = 8\cdot 10^{-5}$ N/C. El apartado c) no cambia.
En el examen: se advierte en una línea que el exponente tiene que ser $+4$ (porque con -4 la masa sería absurda y con $+4$ sale la del potasio) y se resuelve con $8\cdot 10^4$ m/s; si se quiere, se añade el resultado con el dato literal. Lo que nunca hay que hacer es dar $6{,}5\cdot 10^{-18}$ kg como masa de un ion sin comentarlo.

Problema 6.13 · Separación de los isótopos 235 y 238 del uranio MEDIO

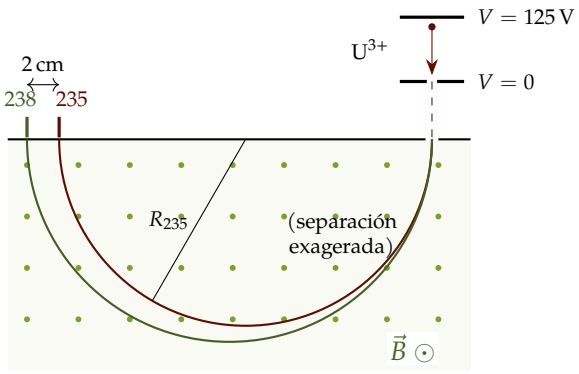
Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos Cataluña 1996 · Problema B3 (traducido del catalán; no se ha podido confirmar en cuál de los dos exámenes de 1996 aparece)

Para separar los isótopos 235 y 238 del uranio procedemos de la siguiente forma: ionizamos al estado trivalente los átomos y los aceleramos con una tensión de 125 V antes de hacerlos entrar en la cámara de un espectrógrafo de masas. ¿Qué valor debe tener el campo magnético al que hay que someter los iones para que la distancia de las dos rendijas de recogida de los isótopos deseados sea de 2 cm? ¿Qué iones entrarán por la más cercana a la rendija de entrada?
(Datos de tablas, no dados en el enunciado: $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C; $u = 1{,}6605 \cdot 10^{-27}$ kg.)

El plan Cada ion llega con la energía qV, así que $R = \frac{1}{B}\sqrt{2mV/q}$. Las rendijas de recogida están a $2R$ de la de entrada: su separación es $2(R_{238} - R_{235}) = 2$ cm. De ahí despejo B.

Resolución

Criterio e hipótesis: iones U^{3+}: $q = 3e$. Masas $m \approx A\,u$ (dato de tablas). Los iones salen del reposo (su velocidad inicial es despreciable) y entran en la cámara perpendicularmente a $\vec{B}$ y a la frontera, así que describen media circunferencia y caen a $2R$ de la rendija de entrada.



Paso 1. Radio de cada isótopo en función de B

Acelero desde el reposo y aplico $R = mv/(qB)$: el radio depende de $\sqrt{m}$.

$$q\,V = \tfrac{1}{2}mv^2 \;\Rightarrow\; v = \sqrt{\frac{2qV}{m}} \qquad \text{aceleración desde el reposo}$$

$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mV}{q}} \qquad F_m = F_c$$

Paso 2. Condición de la separación

Las marcas están a $2R$ de la rendija; impongo la separación pedida y despejo B.

$$2R_{238} - 2R_{235} = 0{,}02\ \text{m} \;\Rightarrow\; R_{238} - R_{235} = 0{,}01\ \text{m} \qquad \textit{las rendijas están a } 2R$$

$$\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2V}{q}}\left(\sqrt{m_{238}} - \sqrt{m_{235}}\right) = 0{,}01 \qquad \textit{saco factor común}$$

$$B = \frac{1}{0{,}01}\sqrt{\frac{2 \cdot 125}{3 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}}}\left(\sqrt{238\,u} - \sqrt{235\,u}\right) \qquad \textit{despejo } B$$

$$B = 100 \cdot 2{,}2808 \cdot 10^{10} \cdot (6{,}2865 - 6{,}2467) \cdot 10^{-13} \qquad \sqrt{m}\ \textit{en}\ \sqrt{kg}$$

$$B = 100 \cdot 2{,}2808 \cdot 10^{10} \cdot 0{,}0398 \cdot 10^{-13} \qquad \textit{resto las raíces}$$

$$\boxed{B = 9{,}1 \cdot 10^{-3}\ \text{T}}$$

¿Por qué? *Con ese campo, $R_{235} = 1{,}572\,m$ y $R_{238} = 1{,}582\,m$: radios enormes porque la tensión es baja y los iones muy pesados, y una separación muy pequeña frente al radio.*

> **△ Error típico**
>
> Redondear las raíces antes de restarlas. Son casi iguales y su diferencia (0,0398) tiene solo tres cifras útiles aunque cada raíz tenga cinco: con tres cifras ($6{,}29 - 6{,}25 = 0{,}04$) la diferencia se queda con una sola cifra significativa, y con menos el resultado no vale nada. Por eso hay que llevar al menos cinco cifras en cada raíz, o usar el atajo del recuadro siguiente, que evita la resta.

> **Otra forma de plantearlo: aproximación diferencial** PARA PROFUNDIZAR
>
> Como las masas se diferencian poco ($\Delta m = 3\,u$ frente a $m \approx 236{,}5\,u$), la diferencia de las raíces se puede sustituir por una derivada (herramienta «Ángulos pequeños y aproximación binomial»):
>
> $$\sqrt{m + \Delta m} - \sqrt{m} \approx \frac{\mathrm{d}\sqrt{m}}{\mathrm{d}m}\Delta m = \frac{\Delta m}{2\sqrt{m}} \qquad \textit{derivada de } \sqrt{m}$$
>
> $$\Delta R = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2V}{q}} \cdot \frac{\Delta m}{2\sqrt{\bar{m}}} \qquad \bar{m} = 236{,}5\,u,\ \textit{el valor medio}$$
>
> $$B = \sqrt{\frac{2V}{q}} \cdot \frac{\Delta m}{2\sqrt{\bar{m}}\,\Delta R} \qquad \textit{despejo}$$
>
> $$B = 2{,}281 \cdot 10^{10} \cdot \frac{3 \cdot 1{,}6605 \cdot 10^{-27}}{2 \cdot 6{,}267 \cdot 10^{-13} \cdot 0{,}01} = 9{,}07 \cdot 10^{-3}\ \text{T} \qquad \textit{sustituyo}$$
>
> El mismo valor (difiere del exacto en cinco millonésimas relativas). Escrito como $\dfrac{\Delta R}{R} = \dfrac{\Delta m}{2m}$, dice además algo físico: con aceleración por tensión, una diferencia relativa de masas del 1,3 % solo separa los radios un 0,63 %. **Cuándo conviene:** siempre que los isótopos sean pesados y de masas parecidas (la resta exacta exige muchas cifras); la fórmula exacta, cuando las masas son muy distintas (por ejemplo, H y D).

Paso 3. ¿Qué iones entran por la rendija más cercana?

El radio crece con la masa ($R \propto \sqrt{m}$): los más ligeros describen la semicircunferencia más pequeña.

Por la rendija más cercana entran los iones $^{235}U^{3+}$

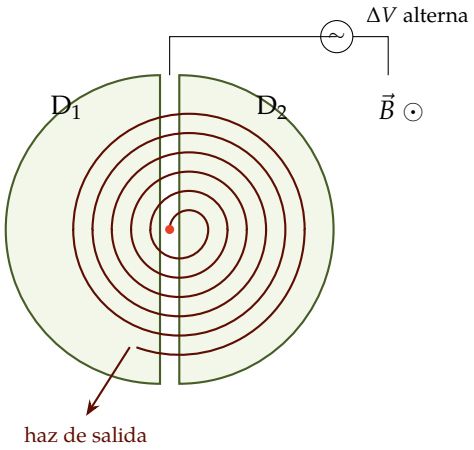
Los calutrones del Proyecto Manhattan PARA PROFUNDIZAR

Así se enriqueció en 1944–45 parte del uranio de la primera bomba atómica, en espectrómetros gigantes llamados *calutrones*. Era un proceso lentísimo: la corriente de iones es diminuta y la separación, pequeña. Hoy se usan la difusión gaseosa y, sobre todo, las centrifugadoras.

6.6 El ciclotrón

El ciclotrón (Lawrence, 1932) es un acelerador de partículas que aprovecha que el periodo del movimiento circular **no depende de la velocidad**. Consta de:

- Dos electrodos huecos en forma de D («des»), dentro de una cámara de vacío, colocados entre los polos de un gran electroimán que crea un campo $\vec{B}$ uniforme perpendicular a ellos.
- Entre las dos des queda una rendija estrecha. Un oscilador aplica entre ellas una diferencia de potencial alterna ΔV, que crea un campo eléctrico solo en la rendija (dentro de cada D, que es un conductor hueco, no hay campo eléctrico).
- Una fuente de iones en el centro, y un electrodo deflector en el borde para extraer el haz.



Funcionamiento.

1. Dentro de una D solo hay campo magnético: el ion describe media circunferencia, con velocidad constante, en un tiempo

$$t_{1/2} = \frac{T}{2} = \frac{\pi m}{q\,B} \qquad \text{(no depende de } v\text{)}$$

2. Al llegar a la rendija, la tensión ha cambiado de signo justo a tiempo y lo acelera: gana $\Delta E_c = q\,\Delta V$.
3. Con más velocidad describe una semicircunferencia de radio mayor ($R = mv/(qB)$) en la otra D, pero tarda lo mismo. Si la tensión oscila con la frecuencia ciclotrónica,

$$f_{\text{osc}} = \frac{q\,B}{2\pi m}$$

el ion siempre encuentra la rendija «a favor»: gana $q\Delta V$ dos veces por vuelta y su trayectoria es una espiral que se abre.

03

El átomo y la tabla periódica

Apuntes y problemas

Recorre las teorías atómicas, Thomson, Millikan y Rutherford, los orígenes de la cuántica (cuerpo negro, efecto fotoeléctrico, Compton y Bohr), la mecánica cuántica y la ecuación de Schrödinger, las configuraciones electrónicas y la tabla periódica.

7 temas **147 problemas** **Oposiciones de toda España**

En esta muestra

Apertura del tema 3: ideas clave y línea del tiempo de la cuántica 26

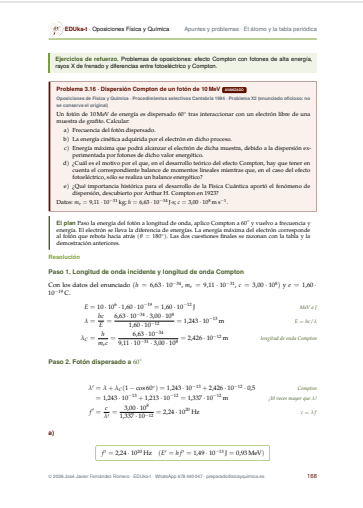
Teoría: la luz como onda y la radiación del cuerpo negro 27

Problema 3.16 · Dispersión Compton de un fotón de 10 MeV (Cantabria 1994) 29

Problema 3.17 · Rayos X de frenado, fotoeléctrico y Compton (Andalucía 1998) 31







3 Los orígenes de la cuántica: cuerpo negro, efecto fotoeléctrico, Compton, espectros y el modelo de Bohr

Ideas clave del tema

- La luz es una onda electromagnética: $c = \lambda f$, con $c = 2{,}998 \cdot 10^8\,\text{m/s}$ en el vacío. Pero en su **emisión y absorción** se comporta como un chorro de paquetes de energía, los **fotones**: $E = hf = \dfrac{hc}{\lambda}$, $p = \dfrac{h}{\lambda}$, con $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}\,\text{J·s}$. Atajo: $E(\text{eV}) = 1240/\lambda(\text{nm})$.
- **Cuerpo negro**: absorbe toda la radiación y emite un espectro que solo depende de T. Stefan–Boltzmann: $M = \sigma T^4$ ($P = \varepsilon\sigma A T^4$). Wien: $\lambda_{\text{máx}} T = 2{,}898 \cdot 10^{-3}\,\text{m K}$. La física clásica predice energía infinita en el ultravioleta (**catástrofe ultravioleta**); Planck (1900) lo arregla con osciladores de energía cuantizada, $E = nhf$.
- **Efecto fotoeléctrico** (Einstein, 1905): $hf = W_0 + E_{c,\text{máx}}$, con $E_{c,\text{máx}} = eV_0$ y $W_0 = hf_0$. Hay umbral, la energía de los electrones depende de f y no de la intensidad, y la emisión es instantánea. La recta E_c–f tiene pendiente h.
- Fotones por segundo: $N = P/(hf)$; corriente: $I = \eta N e$ (η, rendimiento cuántico).
- **Rayos X**: $\lambda_{\text{mín}} = \dfrac{hc}{eV}$ (Duane–Hunt). **Efecto Compton**: $\lambda' - \lambda = \dfrac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$, con $h/(m_e c) = 2{,}426\,\text{pm}$: el fotón tiene cantidad de movimiento.
- **Espectros de líneas**: $\dfrac{1}{\lambda} = R_H\left(\dfrac{1}{n_1^2} - \dfrac{1}{n_2^2}\right)$, $R_H = 1{,}097 \cdot 10^7\,\text{m}^{-1}$. Series: Lyman ($n_1 = 1$, UV), Balmer (2, visible), Paschen (3), Brackett (4) y Pfund (5) (IR).
- **Bohr** (1913): órbitas estacionarias, $m_e v r = n\hbar$ y $hf = |E_i - E_f|$. Para un hidrogenoide: $r_n = a_0\dfrac{n^2}{Z}$, $v_n = \dfrac{Z}{n} \cdot 2{,}19 \cdot 10^6\,\text{m/s}$, $E_n = -13{,}6\dfrac{Z^2}{n^2}\,\text{eV}$. Desde el nivel n hay $n(n-1)/2$ líneas posibles. Un átomo solo absorbe fotones con la energía *exacta* de un salto (o con energía de sobra para ionizarse).
- Franck–Hertz (1914) comprueba los niveles con electrones; Sommerfeld añade órbitas elípticas (k, hoy $l = k - 1$); el efecto Zeeman, la estructura fina y los átomos con varios electrones marcan los límites del modelo.

En el tema anterior construimos el átomo de Rutherford: un núcleo diminuto y positivo con electrones alrededor. Pero dejamos dos preguntas sin contestar. ¿Por qué no se cae el electrón al núcleo, si según el electromagnetismo debería radiar energía mientras gira? ¿Y por qué cada elemento emite solo unos colores concretos? La respuesta llegó de un sitio inesperado: de estudiar **cómo emiten luz los cuerpos calientes**. Entre 1900 y 1923 una serie de experimentos (el cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico, los espectros, el efecto Compton) obligaron a aceptar una idea revolucionaria: **la energía no se intercambia de forma continua, sino en paquetes**, y la luz, que todo el siglo XIX había sido una onda, también llega en paquetes. Con esa idea, Bohr construyó en 1913 el primer modelo atómico que explicaba los espectros.

Fíjate en que el hilo del tema es siempre el mismo, y es el que te pedirán en la oposición: **hecho experimental → por qué la física clásica no lo explica → hipótesis cuántica que lo explica → cálculo**. Este tema es la base de los dos siguientes (la mecánica cuántica) y de todo lo que usarás en los libros de enlace: las energías de ionización, los niveles de energía y los espectros.

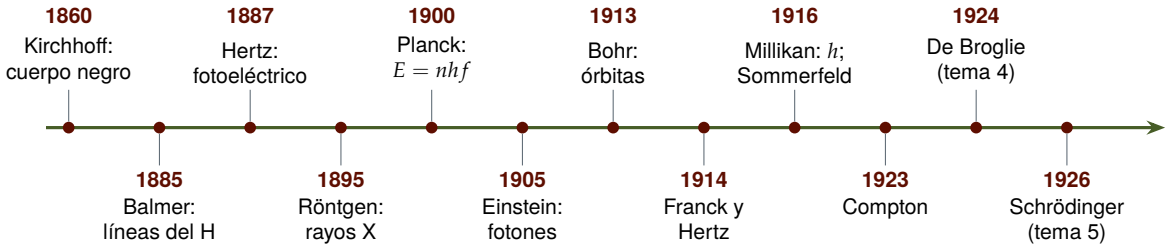


Figura 17: Los hitos del tema. Lo decisivo ocurre en apenas 25 años, entre 1900 y 1926.

3.1 Antes de empezar: la luz es una onda electromagnética

Todo el tema habla de luz, así que repasemos primero lo que ya sabes de bachillerato. Maxwell (1864) demostró que un campo eléctrico que cambia crea un campo magnético, y un campo magnético que cambia crea un campo eléctrico. Los dos se van generando el uno al otro y avanzan juntos por el espacio, incluso en el vacío, sin necesidad de ningún medio material: es una **onda electromagnética**. Hertz las produjo y detectó en el laboratorio en 1887. La luz visible, las ondas de radio, las microondas, el infrarrojo, el ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma son todos ondas electromagnéticas: solo se diferencian en su longitud de onda.

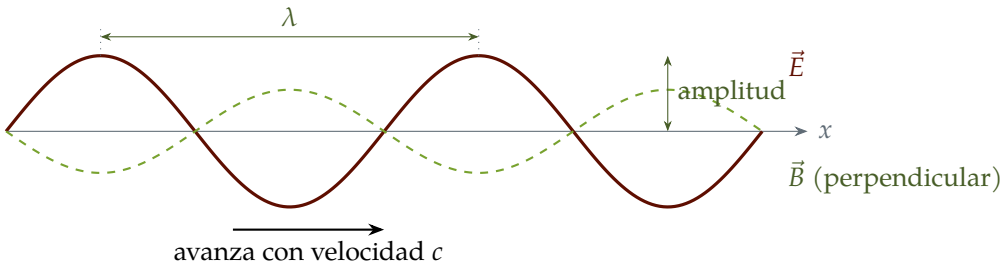


Figura 18: Una onda electromagnética: los campos eléctrico y magnético oscilan perpendiculares entre sí y a la dirección de avance. La longitud de onda λ es la distancia entre dos crestas.

Las magnitudes que vamos a usar todo el rato:

- **Longitud de onda** λ: distancia entre dos crestas consecutivas (m; en la práctica, nm $= 10^{-9}$ m, pm $= 10^{-12}$ m o μm $= 10^{-6}$ m).
- **Frecuencia** f (también se escribe ν): número de oscilaciones por segundo, en hercios (Hz $= \mathrm{s}^{-1}$). El **periodo** es $T = 1/f$.
- **Velocidad**: en el vacío todas viajan a $c = 2{,}998 \cdot 10^8$ m/s. Como en un periodo la onda avanza una longitud de onda,

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \qquad \Longrightarrow \qquad f = \frac{c}{\lambda}$$

Por tanto, a **menor longitud de onda, mayor frecuencia**. La luz roja tiene $\lambda \approx 700$ nm y $f = 2{,}998 \cdot 10^8 / 700 \cdot 10^{-9} = 4{,}28 \cdot 10^{14}$ Hz; la violeta, $\lambda \approx 400$ nm y $f = 7{,}50 \cdot 10^{14}$ Hz. El ojo solo ve la estrecha franja entre unos 400 y 750 nm.

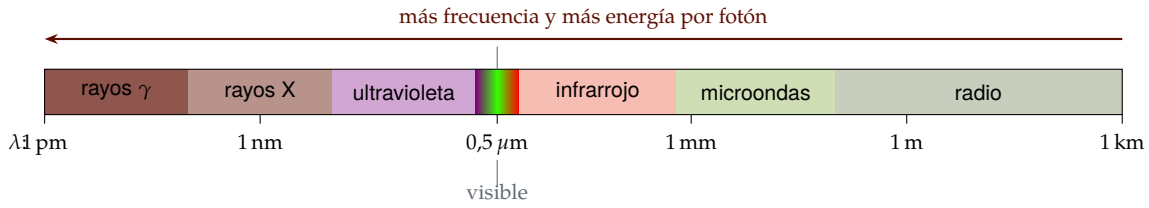


Figura 19: El espectro electromagnético (escala logarítmica aproximada). El visible es una franja estrechísima, entre unos 400 y 750 nm.

La intuición física PARA ENTENDER

En la física clásica la energía de una onda depende de su **amplitud** (de la intensidad, que es proporcional al cuadrado de la amplitud), no de su frecuencia, y está repartida de forma continua por todo el frente de onda, como la energía de las olas del mar. Retén esta idea: es justo la que va a fallar en este tema. Veremos que la energía de la luz llega en paquetes cuyo tamaño depende de la *frecuencia*.

3.2 La radiación del cuerpo negro

Todo cuerpo caliente emite luz

Acerca la mano a una placa vitrocerámica encendida, aunque todavía no se vea roja: notas calor sin tocarla. Es **radiación** infrarroja. Todo cuerpo emite radiación electromagnética por el mero hecho de estar a una temperatura T: sus átomos vibran con la agitación térmica, y las cargas que vibran emiten ondas. A temperatura ambiente esa radiación es infrarroja e invisible (las cámaras térmicas la «ven»). Hacia los 800 K empieza a verse un rojo oscuro; a temperaturas mayores el color pasa a naranja, amarillo y blanco, como en el filamento de una bombilla antigua. Lo llamativo es que **el color depende casi solo de la temperatura**, no del material: un clavo de hierro y un trozo de cerámica a la misma temperatura brillan igual.

Para estudiar el fenómeno sin la influencia del material, Kirchhoff (1860) inventó un objeto ideal, el **cuerpo negro**: *un cuerpo que absorbe toda la radiación que le llega, sea cual sea su longitud de onda*. Ojo, no es un cuerpo que no emite: Kirchhoff demostró que un buen absorbente es también un buen emisor, y que **la radiación que emite un cuerpo negro solo depende de su temperatura**. En el laboratorio se fabrica con una cavidad con un agujero pequeño: la luz que entra por el agujero rebota en las paredes y se absorbe antes de poder salir, y lo que sale por el agujero es la radiación en equilibrio con las paredes. El Sol, las estrellas, un horno o la piel humana (en el infrarrojo) son aproximadamente cuerpos negros.

Ejercicios de refuerzo. Problemas de oposiciones: efecto Compton con fotones de alta energía, rayos X de frenado y diferencias entre fotoeléctrico y Compton.

Problema 3.16 · Dispersión Compton de un fotón de 10 MeV AVANZADO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos Cantabria 1994 · Problema X2 (enunciado oficioso: no se conserva el original)

Un fotón de 10 MeV de energía es dispersado 60° tras interaccionar con un electrón libre de una muestra de grafito. Calcular:

a) Frecuencia del fotón dispersado.
b) La energía cinética adquirida por el electrón en dicho proceso.
c) Energía máxima que podrá alcanzar el electrón de dicha muestra, debido a la dispersión experimentada por fotones de dicho valor energético.
d) ¿Cuál es el motivo por el que, en el desarrollo teórico del efecto Compton, hay que tener en cuenta el correspondiente balance de momentos lineales mientras que, en el caso del efecto fotoeléctrico, sólo se realiza un balance energético?
e) ¿Qué importancia histórica para el desarrollo de la Física Cuántica aportó el fenómeno de dispersión, descubierto por Arthur H. Compton en 1923?

Datos: $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}\,\text{kg}$; $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\,\text{J·s}$; $c = 3{,}00 \cdot 10^{8}\,\text{m s}^{-1}$.

El plan Paso la energía del fotón a longitud de onda, aplico Compton a 60° y vuelvo a frecuencia y energía. El electrón se lleva la diferencia de energías. La energía máxima del electrón corresponde al fotón que rebota hacia atrás ($\theta = 180°$). Las dos cuestiones finales se razonan con la tabla y la demostración anteriores.

Resolución

Paso 1. Longitud de onda incidente y longitud de onda Compton

Con los datos del enunciado ($h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$, $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$, $c = 3{,}00 \cdot 10^{8}$) y $e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}\,\text{C}$.

$$E = 10 \cdot 10^{6} \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19} = 1{,}60 \cdot 10^{-12}\,\text{J} \qquad \textit{MeV a J}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8}}{1{,}60 \cdot 10^{-12}} = 1{,}243 \cdot 10^{-13}\,\text{m} \qquad E = hc/\lambda$$

$$\lambda_C = \frac{h}{m_e c} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8}} = 2{,}426 \cdot 10^{-12}\,\text{m} \qquad \textit{longitud de onda Compton}$$

Paso 2. Fotón dispersado a 60°

$$\lambda' = \lambda + \lambda_C(1 - \cos 60°) = 1{,}243 \cdot 10^{-13} + 2{,}426 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}5 \qquad \textit{Compton}$$
$$= 1{,}243 \cdot 10^{-13} + 1{,}213 \cdot 10^{-12} = 1{,}337 \cdot 10^{-12}\,\text{m} \qquad \textit{¡10 veces mayor que } \lambda\textit{!}$$

$$f' = \frac{c}{\lambda'} = \frac{3{,}00 \cdot 10^{8}}{1{,}337 \cdot 10^{-12}} = 2{,}24 \cdot 10^{20}\,\text{Hz} \qquad c = \lambda f$$

a)

$$\boxed{f' = 2{,}24 \cdot 10^{20}\,\text{Hz} \quad (E' = hf' = 1{,}49 \cdot 10^{-13}\,\text{J} = 0{,}93\,\text{MeV})}$$

Paso 3. Energía cinética del electrón

$$E_c = E - hf' = 1{,}60\cdot10^{-12} - 1{,}49\cdot10^{-13} = 1{,}45\cdot10^{-12}\,\text{J} \qquad \textit{conservación de la energía}$$
$$= \frac{1{,}45\cdot10^{-12}}{1{,}60\cdot10^{-19}}\,\text{eV} = 9{,}07\,\text{MeV} \qquad \textit{J a eV}$$

b)

$$\boxed{E_c = 1{,}45\cdot10^{-12}\,\text{J} = 9{,}07\,\text{MeV}}$$

¿Por qué? *A diferencia de los rayos X de Compton, aquí el fotón pierde más del 90 % de su energía: cuando $E \gg m_e c^2$ (10 MeV frente a 0,511 MeV), $\Delta\lambda$ es mucho mayor que λ. El electrón sale con una velocidad muy próxima a c: es un problema relativista.*

Paso 4. Energía máxima del electrón

El electrón recibe más energía cuanto más pierde el fotón, es decir, cuanto mayor es $\Delta\lambda$: el máximo es para $\theta = 180°$ (el fotón rebota hacia atrás y el electrón sale hacia delante).

$$\lambda'_{\text{máx}} = \lambda + 2\lambda_C = 1{,}243\cdot10^{-13} + 4{,}852\cdot10^{-12} = 4{,}976\cdot10^{-12}\,\text{m} \qquad \theta = 180°$$
$$E'_{\text{mín}} = \frac{hc}{\lambda'_{\text{máx}}} = \frac{1{,}989\cdot10^{-25}}{4{,}976\cdot10^{-12}} = 4{,}00\cdot10^{-14}\,\text{J}\ (0{,}25\,\text{MeV}) \qquad \textit{fotón que rebota}$$
$$E_{c,\text{máx}} = 1{,}60\cdot10^{-12} - 4{,}00\cdot10^{-14} = 1{,}56\cdot10^{-12}\,\text{J} = 9{,}75\,\text{MeV} \qquad \textit{conservación de la energía}$$

c)

$$\boxed{E_{c,\text{máx}} = 1{,}56\cdot10^{-12}\,\text{J} = 9{,}75\,\text{MeV}\ \ (\text{el «borde Compton»})}$$

Paso 5. ¿Por qué en Compton se conserva la cantidad de movimiento y en el fotoeléctrico no se usa?

d) En el efecto Compton el sistema que choca es solo el par fotón–electrón libre, y no hay ningún otro cuerpo que pueda llevarse cantidad de movimiento: hay que conservar la energía *y* la cantidad de movimiento, y es precisamente esa segunda ecuación la que fija cómo depende λ' del ángulo. En el efecto fotoeléctrico el electrón está **ligado** a un átomo de un metal: el fotón desaparece, y la cantidad de movimiento que el electrón no puede llevarse la absorbe el átomo (y a través de él, todo el metal). Como su masa es enorme frente a la del electrón, la energía que se lleva es despreciable ($E = p^2/2M$), y basta con el balance de energía. De hecho, un electrón *libre* no puede absorber un fotón conservando a la vez energía y cantidad de movimiento (lo demostramos antes).

Compton: electrón libre, sistema aislado fotón–electrón.
Fotoeléctrico: el átomo (el metal) se lleva la p sin llevarse energía

Paso 6. Importancia histórica

e) Hasta 1923 la ecuación de Einstein funcionaba, pero muchos físicos pensaban que la cuantización estaba en la materia y no en la luz. El efecto Compton mostró que el fotón tiene **cantidad de movimiento** $p = h/\lambda$ y que choca con los electrones como una partícula, cumpliendo las leyes de conservación de la mecánica relativista. Fue la prueba definitiva de la **realidad del fotón** y de la **naturaleza corpuscular de la radiación**, y preparó la hipótesis de De Broglie (1924): si las ondas tienen $p = h/\lambda$, quizá las partículas tengan $\lambda = h/p$. Compton recibió el Nobel en 1927.

El fotón tiene cantidad de movimiento:
prueba definitiva de la naturaleza corpuscular de la luz

Problema 3.17 · Rayos X de frenado, efecto fotoeléctrico y Compton MEDIO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos Andalucía 1998 · Física, problema 4

Se aceleran electrones emitidos por un cátodo caliente por medio de una diferencia de potencial entre aquel y una superficie anódica plana. Al llegar aquellos a las proximidades de esta última (perpendicular a la superficie), llevan una energía cinética no relativista $T_0 = 400\,\text{eV}$. Al chocar los electrones con el ánodo, se emite radiación electromagnética de rayos X.

a) Hállese su longitud de onda mínima y la correspondiente frecuencia si dicha radiación de R-X, con λ mínima, incidiese sobre una placa de sodio. Estúdiese la posibilidad de producir efecto fotoeléctrico. Dato: la función de trabajo del sodio es $W_0 = 1{,}82\,\text{eV}$.

b) Supóngase que un electrón emitido por el cátodo, justamente al llegar a las proximidades del ánodo (perpendicular a la superficie) sufre una colisión totalmente elástica con un fotón de la radiación de R-X. El fotón tiene una longitud de onda mínima y se mueve perpendicular a la superficie anódica (esta dirección se tomará como eje x positivo). Hállese la λ de la radiación electromagnética reemitida tras la colisión en una dirección que forma un ángulo θ con el eje.

Datos: $c = 3 \cdot 10^8\,\text{m/s}$; $h = 4{,}1 \cdot 10^{-15}\,\text{eV·s}$.

El plan En a), los rayos X de λ mínima son los fotones a los que un electrón cede *toda* su energía cinética, 400 eV (Duane–Hunt). Para el sodio comparo esa energía con el trabajo de extracción. En b), el choque elástico fotón–electrón es un efecto Compton: aplico la fórmula con la longitud de onda mínima. Uso $h = 4{,}1 \cdot 10^{-15}\,\text{eV·s}$, como da el enunciado, y $m_e c^2 = 0{,}511\,\text{MeV}$.

Resolución

Paso 1. Longitud de onda mínima y frecuencia

$$h f_{\text{máx}} = T_0 = 400\,\text{eV} \qquad \textit{toda la energía del electrón en un fotón}$$

$$f_{\text{máx}} = \frac{400\,\text{eV}}{4{,}1 \cdot 10^{-15}\,\text{eV s}} = 9{,}76 \cdot 10^{16}\,\text{Hz} \qquad f = E/h$$

$$\lambda_{\text{mín}} = \frac{c}{f_{\text{máx}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{9{,}76 \cdot 10^{16}} = 3{,}08 \cdot 10^{-9}\,\text{m} \approx 3{,}1\,\text{nm} \qquad c = \lambda f$$

Paso 2. ¿Efecto fotoeléctrico en el sodio?

$$f_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{1{,}82}{4{,}1 \cdot 10^{-15}} = 4{,}4 \cdot 10^{14}\,\text{Hz} \quad (\lambda_0 = 676\,\text{nm}) \qquad \textit{umbral del sodio}$$

$$E_{c,\text{máx}} = 400 - 1{,}82 \approx 398\,\text{eV} \qquad \textit{Einstein}$$

04

Enlace iónico

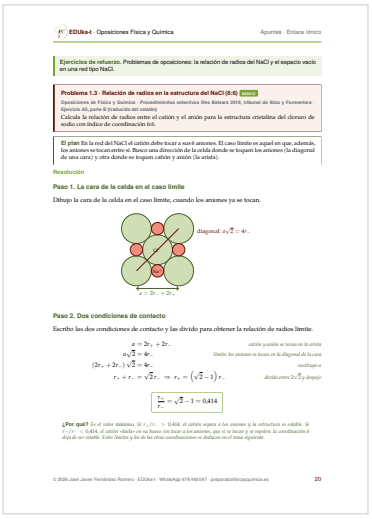
Apuntes y problemas

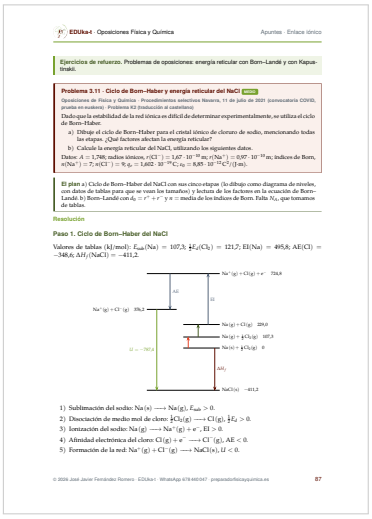
Redes cristalinas, iones y propiedades periódicas, energía reticular (Born–Landé, Born–Haber y Kapustinskii), y propiedades de los compuestos iónicos.

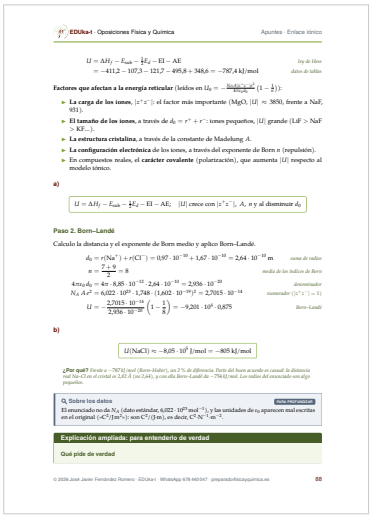
4 temas **47 problemas** **13 de oposiciones**

En esta muestra

Problema 1.3 · Relación de radios en el NaCl (Illes Balears 2019), con explicación ampliada 33
Problema 3.11 · Ciclo de Born–Haber del NaCl (Navarra 2021) 35







Ejercicios de refuerzo. Problemas de oposiciones: la relación de radios del NaCl y el espacio vacío en una red tipo NaCl.

Problema 1.3 · Relación de radios en la estructura del NaCl (6:6) BÁSICO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos Illes Balears 2019, tribunal de Ibiza y Formentera · Ejercicio A5, parte B (traducido del catalán)

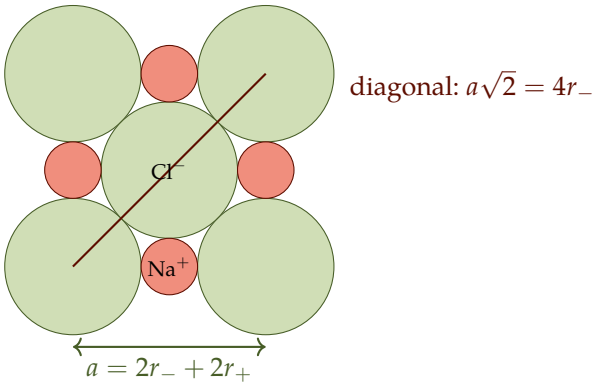
Calcula la relación de radios entre el catión y el anión para la estructura cristalina del cloruro de sodio con índice de coordinación 6:6.

El plan En la red del NaCl el catión debe tocar a sus 6 aniones. El caso límite es aquel en que, además, los aniones se tocan entre sí. Busco una dirección de la celda donde se toquen los aniones (la diagonal de una cara) y otra donde se toquen catión y anión (la arista).

Resolución

Paso 1. La cara de la celda en el caso límite

Dibujo la cara de la celda en el caso límite, cuando los aniones ya se tocan.



Paso 2. Dos condiciones de contacto

Escribo las dos condiciones de contacto y las divido para obtener la relación de radios límite.

$$a = 2r_+ + 2r_- \qquad \text{catión y anión se tocan en la arista}$$

$$a\sqrt{2} = 4r_- \qquad \text{límite: los aniones se tocan en la diagonal de la cara}$$

$$(2r_+ + 2r_-)\sqrt{2} = 4r_- \qquad \text{sustituyo } a$$

$$r_+ + r_- = \sqrt{2}\,r_- \;\Rightarrow\; r_+ = \left(\sqrt{2} - 1\right) r_- \qquad \text{divido entre } 2\sqrt{2} \text{ y despejo}$$

$$\boxed{\frac{r_+}{r_-} = \sqrt{2} - 1 = 0{,}414}$$

¿Por qué? *Es el valor* mínimo. *Si $r_+/r_- > 0{,}414$, el catión separa a los aniones y la estructura es estable. Si $r_+/r_- < 0{,}414$, el catión «baila» en su hueco sin tocar a los aniones, que sí se tocan y se repelen: la coordinación 6 deja de ser estable. Estos límites y los de las otras coordinaciones se deducen en el tema siguiente.*

Explicación ampliada: para entenderlo de verdad

Qué pide de verdad

Por qué cada estructura iónica solo es estable a partir de cierta relación de radios. La idea es geométrica: un catión rodeado de aniones tiene que ser lo bastante grande para tocarlos a todos. Si es demasiado pequeño, «baila» en su hueco, los aniones se tocan entre sí y se repelen, y la estructura deja de ser estable.

La idea clave: el caso límite

En el límite, el catión toca a los aniones y los aniones se tocan entre sí. Con esa doble condición sale un número para cada coordinación:

coordinación	geometría	dónde se tocan los aniones	r_+/r_- mínimo
3	triángulo	lado del triángulo	$2/\sqrt{3}-1=0{,}155$
4	tetraedro	arista del tetraedro	$\sqrt{3/2}-1=0{,}225$
6	octaedro (NaCl)	diagonal de la cara	$\sqrt{2}-1=0{,}414$
8	cubo (CsCl)	arista del cubo	$\sqrt{3}-1=0{,}732$

La idea con palabras

Cada número es un *mínimo*: con un catión mayor la estructura es estable, pero si es lo bastante grande para la coordinación siguiente, tiende a rodearse de más aniones, porque así gana más atracción. Por eso los intervalos se leen así: entre 0,414 y 0,732, coordinación 6.

Errores frecuentes

- **Tomar 0,414 como un máximo.** Es el valor por debajo del cual la coordinación 6 ya no es estable.
- **Usar la diagonal del cubo en el NaCl.** En la estructura del NaCl, catión y anión se tocan en la arista, y los aniones en la diagonal de la cara.
- **Confiar ciegamente en la regla.** Es orientativa: falla cuando hay carácter covalente (ZnS, AgI) o cuando los radios están mal definidos.

Ejercicios de refuerzo. Problemas de oposiciones: energía reticular con Born–Landé y con Kapustinskii.

Problema 3.11 · Ciclo de Born–Haber y energía reticular del NaCl MEDIO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos Navarra, 11 de julio de 2021 (convocatoria COVID, prueba en euskera) · Problema K2 (traducción al castellano)

Dado que la estabilidad de la red iónica es difícil de determinar experimentalmente, se utiliza el ciclo de Born–Haber.

a) Dibuje el ciclo de Born–Haber para el cristal iónico de cloruro de sodio, mencionando todas las etapas. ¿Qué factores afectan la energía reticular?

b) Calcule la energía reticular del NaCl, utilizando los siguientes datos.

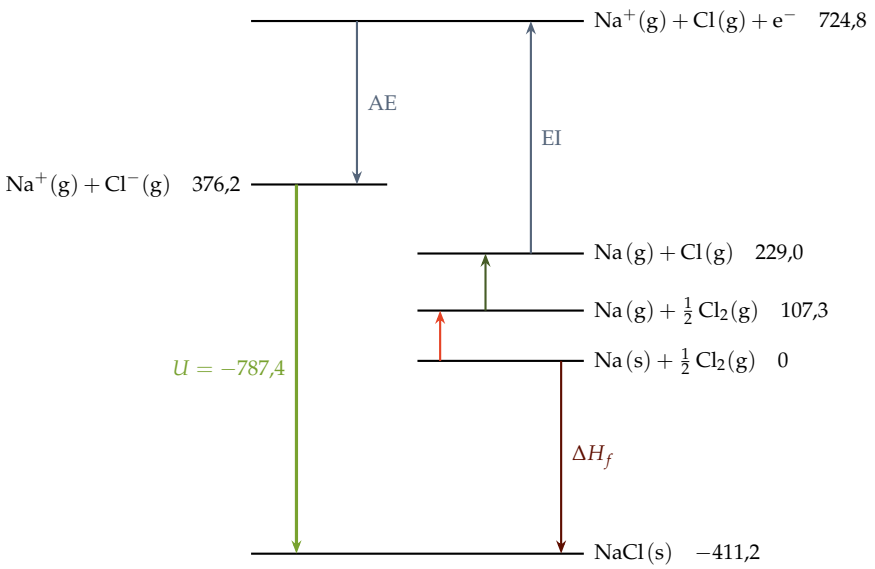
Datos: $A = 1{,}748$; radios iónicos, $r(\mathrm{Cl}^-) = 1{,}67 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{m}$; $r(\mathrm{Na}^+) = 0{,}97 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{m}$; índices de Born, $n(\mathrm{Na}^+) = 7$; $n(\mathrm{Cl}^-) = 9$; $q_e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$; $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{C}^2/(\mathrm{J{\cdot}m})$.

El plan a) Ciclo de Born–Haber del NaCl con sus cinco etapas (lo dibujo como diagrama de niveles, con datos de tablas para que se vean los tamaños) y lectura de los factores en la ecuación de Born–Landé. b) Born–Landé con $d_0 = r^+ + r^-$ y $n =$ media de los índices de Born. Falta N_A, que tomamos de tablas.

Resolución

Paso 1. Ciclo de Born–Haber del NaCl

Valores de tablas (kJ/mol): $E_{\mathrm{sub}}(\mathrm{Na}) = 107{,}3$; $\frac{1}{2}E_d(\mathrm{Cl_2}) = 121{,}7$; $\mathrm{EI}(\mathrm{Na}) = 495{,}8$; $\mathrm{AE}(\mathrm{Cl}) = -348{,}6$; $\Delta H_f(\mathrm{NaCl}) = -411{,}2$.



1) Sublimación del sodio: $\mathrm{Na(s)} \longrightarrow \mathrm{Na(g)}$, $E_{\mathrm{sub}} > 0$.
2) Disociación de medio mol de cloro: $\frac{1}{2}\mathrm{Cl_2(g)} \longrightarrow \mathrm{Cl(g)}$, $\frac{1}{2}E_d > 0$.
3) Ionización del sodio: $\mathrm{Na(g)} \longrightarrow \mathrm{Na^+(g) + e^-}$, $\mathrm{EI} > 0$.
4) Afinidad electrónica del cloro: $\mathrm{Cl(g) + e^-} \longrightarrow \mathrm{Cl^-(g)}$, $\mathrm{AE} < 0$.
5) Formación de la red: $\mathrm{Na^+(g) + Cl^-(g)} \longrightarrow \mathrm{NaCl(s)}$, $U < 0$.

$$U = \Delta H_f - E_{\text{sub}} - \tfrac{1}{2}E_d - \text{EI} - \text{AE} \qquad \textit{ley de Hess}$$
$$= -411{,}2 - 107{,}3 - 121{,}7 - 495{,}8 + 348{,}6 = -787{,}4\ \text{kJ/mol} \qquad \textit{datos de tablas}$$

Factores que afectan a la energía reticular (leídos en $U_0 = -\frac{N_A A|z^+z^-|e^2}{4\pi\varepsilon_0 d_0}\left(1-\frac{1}{n}\right)$):

- **La carga de los iones**, $|z^+z^-|$: el factor más importante (MgO, $|U| \approx 3850$, frente a NaF, 931).
- **El tamaño de los iones**, a través de $d_0 = r^+ + r^-$: iones pequeños, $|U|$ grande (LiF > NaF > KF...).
- **La estructura cristalina**, a través de la constante de Madelung A.
- **La configuración electrónica** de los iones, a través del exponente de Born n (repulsión).
- En compuestos reales, el **carácter covalente** (polarización), que aumenta $|U|$ respecto al modelo iónico.

a)

$$U = \Delta H_f - E_{\text{sub}} - \tfrac{1}{2}E_d - \text{EI} - \text{AE}; \quad |U| \text{ crece con } |z^+z^-|,\ A,\ n \text{ y al disminuir } d_0$$

Paso 2. Born–Landé

Calculo la distancia y el exponente de Born medio y aplico Born–Landé.

$$d_0 = r(\text{Na}^+) + r(\text{Cl}^-) = 0{,}97\cdot10^{-10} + 1{,}67\cdot10^{-10} = 2{,}64\cdot10^{-10}\ \text{m} \qquad \textit{suma de radios}$$
$$n = \frac{7+9}{2} = 8 \qquad \textit{media de los índices de Born}$$
$$4\pi\varepsilon_0\, d_0 = 4\pi\cdot 8{,}85\cdot10^{-12}\cdot 2{,}64\cdot10^{-10} = 2{,}936\cdot10^{-20} \qquad \textit{denominador}$$
$$N_A\, A\, e^2 = 6{,}022\cdot10^{23}\cdot 1{,}748\cdot(1{,}602\cdot10^{-19})^2 = 2{,}7015\cdot10^{-14} \qquad \textit{numerador } (|z^+z^-|=1)$$
$$U = -\frac{2{,}7015\cdot10^{-14}}{2{,}936\cdot10^{-20}}\left(1-\frac{1}{8}\right) = -9{,}201\cdot10^5\cdot 0{,}875 \qquad \textit{Born–Landé}$$

b)

$$U(\text{NaCl}) \approx -8{,}05\cdot10^5\ \text{J/mol} = -805\ \text{kJ/mol}$$

¿Por qué? *Frente a $-787\,kJ/mol$ (Born–Haber), un 2 % de diferencia. Parte del buen acuerdo es casual: la distancia real Na–Cl en el cristal es 2,82 Å (no 2,64), y con ella Born–Landé da $-754\,kJ/mol$. Los radios del enunciado son algo pequeños.*

Sobre los datos PARA PROFUNDIZAR

El enunciado no da N_A (dato estándar, $6{,}022\cdot10^{23}\ \text{mol}^{-1}$), y las unidades de ε_0 aparecen mal escritas en el original («$C^2/J\,m^2$»): son $C^2/(J\cdot m)$, es decir, $C^2\cdot N^{-1}\cdot m^{-2}$.

Explicación ampliada: para entenderlo de verdad

Qué pide de verdad

Calcular la energía reticular del NaCl con la ecuación de Born–Landé, $U = -\dfrac{N_A A e^2}{4\pi\varepsilon_0 d_0}\left(1 - \dfrac{1}{n}\right)$, y explicar de qué depende. Merece la pena ver cuánto cambia el resultado con cada dato.

La idea clave: qué dato pesa más

cálculo	datos	U (kJ/mol)
el del enunciado	$d_0 = 2{,}64$ Å, $n = 8$	-805
con la distancia real	$d_0 = 2{,}82$ Å, $n = 8$	-754
sin repulsión	$d_0 = 2{,}64$ Å, $n \to \infty$	-920
$n = 5$ / $n = 12$	$d_0 = 2{,}82$ Å	-689 / -790
Born–Haber (experimental)		-787

La idea con palabras

$|U|$ crece con el producto de cargas, con la constante de Madelung (la geometría del cristal) y con n (cuanto más «dura» es la repulsión, menos resta), y disminuye al aumentar d_0. El enunciado da unos radios pequeños (0,97 y 1,67 Å suman 2,64 Å, cuando la distancia real es 2,82 Å), y por eso el acuerdo con el valor experimental es en parte casual.

Errores frecuentes

- **Usar un solo índice de Born.** Si los iones son de tipos distintos, se toma la media: $n = (7 + 9)/2 = 8$.
- **Olvidar N_A.** Sin él sale la energía de un par de iones, en julios por par.
- **Dar el resultado en J/mol con demasiadas cifras.** Con los datos del enunciado, tres cifras: -805 kJ/mol.

05

Enlace covalente

Apuntes y problemas

Estructuras de Lewis y resonancia, geometría (RPECV) e hibridación, teoría de orbitales moleculares y polaridad.

4 temas **63 problemas** **26 de oposiciones**

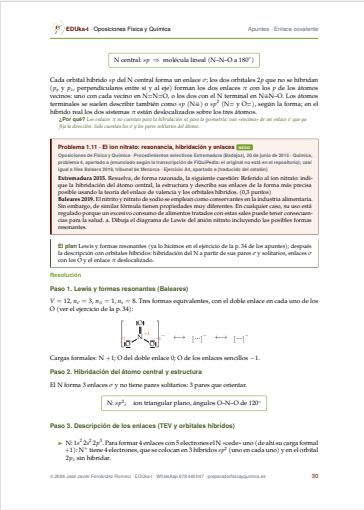
En esta muestra

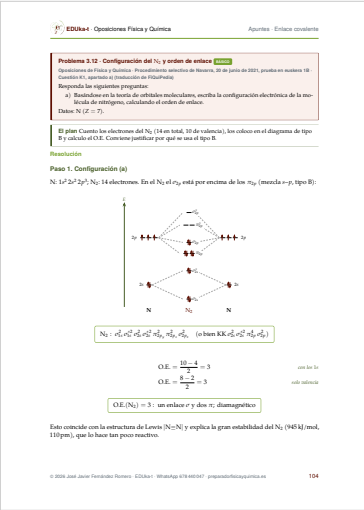
Problema 1.10 · N_2O: Lewis e hibridación (La Rioja 2023) **39**

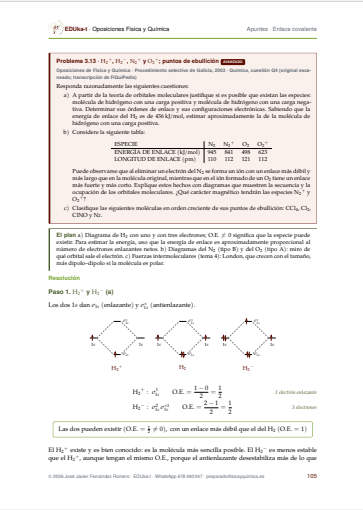
Problema 1.11 · El ion nitrato (Extremadura 2015) **40**

Problema 1.12 · NO_2, una molécula paramagnética (Illes Balears 2019) **41**

Problemas 3.12 y 3.13 · Diagramas de orbitales moleculares (Navarra 2021 y Galicia 2003) **42**







Problema 1.10 · Monóxido de dinitrógeno: Lewis e hibridación MEDIO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos La Rioja 2023 · Problema 4, apartado a (el apartado b es de química orgánica)

Resuelva las siguientes cuestiones:
a) Justifique la estructura de Lewis, no cíclica, para la molécula monóxido de dinitrógeno y por la teoría de enlace valencia la hibridación. Todos los pasos deben estar debidamente razonados. (5 puntos)

El plan Uso el método de los apuntes para contar pares, descarto el esqueleto con el O central por su carga formal, escribo las tres formas resonantes N–N–O y elijo con los criterios de carga formal. La hibridación sale de los pares que rodean al N central (los π no cuentan para la geometría).

Resolución

Paso 1. Electrones y pares

N: $1s^2\,2s^2\,2p^3$ (5 e^- de valencia); O: $1s^2\,2s^2\,2p^4$ (6).

$$V = \frac{2\cdot 5 + 6}{2} = 8 \qquad q = 3,\ h = 0$$

$$n_\sigma = 3 - 1 = 2; \qquad n_\pi = 3\cdot 3 + 1 - 8 = 2; \qquad n_s = 8 - 2 - 2 = 4 \qquad \textit{estructura abierta (no cíclica)}$$

Paso 2. Esqueleto

- **N–O–N** (O central): la mejor estructura sería N=O=N, con cargas -1, $+2$, -1. Una carga $+2$ en el átomo más electronegativo: se descarta.
- **N–N–O** (N central): se elige por ser el N menos electronegativo que el O. Es la estructura real (la molécula es lineal y asimétrica, con $\mu = 0{,}16$ D).

Paso 3. Formas resonantes y cargas formales

Escribo las formas resonantes con sus cargas formales y decido cuál pesa más.

$$\langle \overset{-1}{\mathrm{N}}=\overset{+1}{\mathrm{N}}=\mathrm{O}\rangle \longleftrightarrow |\mathrm{N}\equiv\overset{+1}{\mathrm{N}}-\overline{\mathrm{O}}|^{-1} \longleftrightarrow |\overset{-2}{\overline{\mathrm{N}}}-\overset{+1}{\mathrm{N}}\equiv\overset{+1}{\mathrm{O}}|$$

$$\text{N central}: \quad 5-(0+4) = +1 \qquad \textit{en las tres: 4 enlaces, sin pares}$$

$$\mathrm{N}\equiv \ /\ \mathrm{N}= \ /\ \mathrm{N}-: \quad 0\ /\ -1\ /\ -2 \qquad 5-(2+3),\ 5-(4+2),\ 5-(6+1)$$

$$\mathrm{O}- \ /\ \mathrm{O}= \ /\ \mathrm{O}\equiv: \quad -1\ /\ 0\ /\ +1 \qquad 6-(6+1),\ 6-(4+2),\ 6-(2+3)$$

La tercera (cargas -2, $+1$, $+1$, con el O positivo) apenas contribuye. Las dos primeras tienen dos cargas ± 1; la de N≡N–O pone la negativa en el O, el más electronegativo, y es la que más pesa, aunque N=N=O también contribuye mucho (las distancias, 113 y 119 pm, son intermedias).

N≡N−O $(0,+1,-1)$ ⟷ N=N=O $(-1,+1,0)$; la primera es la de mayor peso

Paso 4. Hibridación (TEV)

En las dos formas importantes, el N central forma **2 enlaces** σ (con el otro N y con el O) y **no tiene pares solitarios**: hay 2 pares que orientar, que se colocan a 180°.

N central: $sp \Rightarrow$ molécula lineal (N–N–O a 180°)

Cada orbital híbrido sp del N central forma un enlace σ; los dos orbitales $2p$ que no se hibridan (p_y y p_z, perpendiculares entre sí y al eje) forman los dos enlaces π con los p de los átomos vecinos: uno con cada vecino en N=N=O, o los dos con el N terminal en N≡N–O. Los átomos terminales se suelen describir también como sp (N≡) o sp^2 (N= y O=), según la forma; en el híbrido real los dos sistemas π están deslocalizados sobre los tres átomos.

¿Por qué? *Los enlaces π no cuentan para la hibridación ni para la geometría: van «encima» de un enlace σ que ya fija la dirección. Solo cuentan los σ y los pares solitarios del átomo.*

Problema 1.11 · El ion nitrato: resonancia, hibridación y enlaces MEDIO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos Extremadura (Badajoz), 20 de junio de 2015 · Química, problema 4, apartado a (enunciado según la transcripción de FiQuiPedia: el original no está en el repositorio); casi igual a Illes Balears 2019, tribunal de Menorca · Ejercicio A4, apartado a (traducido del catalán)

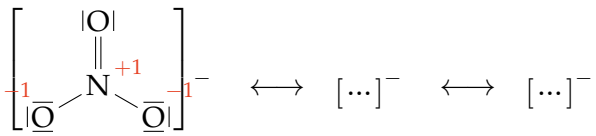
Extremadura 2015. Resuelva, de forma razonada, la siguiente cuestión: Referido al ion nitrato: indique la hibridación del átomo central, la estructura y describa sus enlaces de la forma más precisa posible usando la teoría del enlace de valencia y los orbitales híbridos. (0,3 puntos)
Baleares 2019. El nitrito y nitrato de sodio se emplean como conservantes en la industria alimentaria. Sin embargo, de similar fórmula tienen propiedades muy diferentes. En cualquier caso, su uso está regulado porque un excesivo consumo de alimentos tratados con estas sales puede tener consecuencias para la salud. a. Dibuja el diagrama de Lewis del anión nitrato incluyendo las posibles formas resonantes.

El plan Lewis y formas resonantes (ya lo hicimos en el ejercicio de la p. 34 de los apuntes); después la descripción con orbitales híbridos: hibridación del N a partir de sus pares σ y solitarios, enlaces σ con los O y el enlace π deslocalizado.

Resolución

Paso 1. Lewis y formas resonantes (Baleares)

$V = 12$, $n_\sigma = 3$, $n_\pi = 1$, $n_s = 8$. Tres formas equivalentes, con el doble enlace en cada uno de los O (ver el ejercicio de la p. 34):



Cargas formales: N +1; O del doble enlace 0; O de los enlaces sencillos −1.

Paso 2. Hibridación del átomo central y estructura

El N forma 3 enlaces σ y no tiene pares solitarios: 3 pares que orientar.

N: sp^2; ion triangular plano, ángulos O–N–O de 120°

Paso 3. Descripción de los enlaces (TEV y orbitales híbridos)

- N: $1s^2\,2s^2\,2p^3$. Para formar 4 enlaces con 5 electrones el N «cede» uno (de ahí su carga formal +1): N^+ tiene 4 electrones, que se colocan en 3 híbridos sp^2 (uno en cada uno) y en el orbital $2p_z$ sin hibridar.

- **Tres enlaces** σ N–O, por solapamiento frontal de cada híbrido sp^2 del N con un orbital $2p$ (o un híbrido) de cada O. Están en el plano, a 120°.
- **Un enlace** π por solapamiento lateral del $2p_z$ del N con los $2p_z$ de los O, todos perpendiculares al plano. Como los tres O son equivalentes, ese enlace **no está localizado** en un N–O concreto: es una nube π deslocalizada sobre los cuatro átomos (por encima y por debajo del plano).

$3\,\sigma\,(sp^2_{\mathrm{N}}\text{–}2p_{\mathrm{O}}) + 1\,\pi$ deslocalizado; $\quad \mathrm{OE(N\text{–}O)} = \frac{4}{3}$; $\quad$ los tres N–O iguales (125 pm)

Problema 1.12 · Dióxido de nitrógeno, una molécula paramagnética MEDIO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos Illes Balears 2019, tribunal de Menorca · Ejercicio B5, apartado a (traducido del catalán; los apartados b y c son del equilibrio $N_2O_4 \rightleftharpoons 2\,NO_2$)

El dióxido de nitrógeno es uno de los óxidos de nitrógeno presentes en la atmósfera. El NO_2 dimeriza en N_2O_4.
a. Dibuja el diagrama de Lewis del dióxido de nitrógeno incluyendo las posibles formas resonantes sabiendo que el dióxido de nitrógeno es paramagnético.

El plan El dato de que es paramagnético nos dice que tiene un electrón desapareado. Cuento electrones (impar), escribo las estructuras con el electrón desapareado y las formas resonantes, con sus cargas formales.

Resolución

Paso 1. Recuento

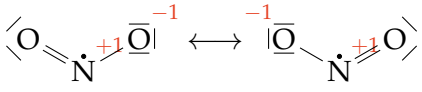
El número de electrones es impar: habrá un electrón desapareado.

$$5 + 2\cdot 6 = 17 \text{ electrones (impar)} \qquad \textit{un electrón quedará desapareado: paramagnético}$$
$$V = 8{,}5; \quad n_\sigma = 2; \quad n_\pi = 3\cdot 3 + 1 - 8{,}5 = 1{,}5 \qquad \textit{el «medio par» es el electrón suelto}$$

Un enlace π entero y un átomo que se queda con 7 electrones (el «0,5» que falta para el segundo π). Lo lógico es dejar ese hueco en el N, el menos electronegativo.

Paso 2. Formas resonantes

Escribo las formas resonantes del NO_2 con el electrón desapareado.



N: $5-(1+3) = +1$; O doble: 0; O sencillo: -1.

NO_2 : radical con el electrón desapareado en el N
dos formas equivalentes, $\mathrm{OE(N\text{–}O)} = 1{,}5$

¿Por qué no se pone el electrón suelto en el O? PARA PROFUNDIZAR

Hay otra estructura,

Problema 3.12 · Configuración del N_2 y orden de enlace BÁSICO

Oposiciones de Física y Química · Procedimiento selectivo de Navarra, 20 de junio de 2021, prueba en euskera 1B · Cuestión K1, apartado a) (traducción de FiQuiPedia)

Responda las siguientes preguntas:

a) Basándose en la teoría de orbitales moleculares, escriba la configuración electrónica de la molécula de nitrógeno, calculando el orden de enlace.

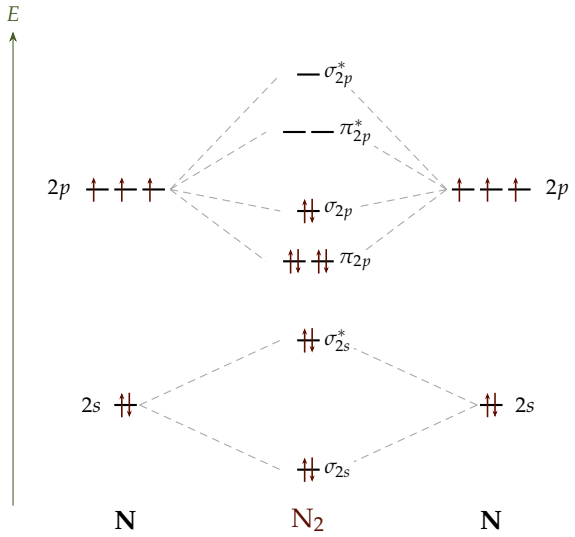
Datos: N ($Z = 7$).

El plan Cuento los electrones del N_2 (14 en total, 10 de valencia), los coloco en el diagrama de tipo B y calculo el O.E. Conviene justificar por qué se usa el tipo B.

Resolución

Paso 1. Configuración (a)

N: $1s^2\,2s^2\,2p^3$; N_2: 14 electrones. En el N_2 el σ_{2p} está por encima de los π_{2p} (mezcla s–p, tipo B):



$$N_2:\ \sigma_{1s}^2\,\sigma_{1s}^{*2}\,\sigma_{2s}^2\,\sigma_{2s}^{*2}\,\pi_{2p_y}^2\,\pi_{2p_z}^2\,\sigma_{2p_x}^2 \quad (\text{o bien KK}\ \sigma_{2s}^2\,\sigma_{2s}^{*2}\,\pi_{2p}^4\,\sigma_{2p}^2)$$

$$\text{O.E.} = \frac{10-4}{2} = 3 \qquad \textit{con los 1s}$$

$$\text{O.E.} = \frac{8-2}{2} = 3 \qquad \textit{solo valencia}$$

$$\text{O.E.}(N_2) = 3:\ \text{un enlace } \sigma \text{ y dos } \pi;\ \text{diamagnético}$$

Esto coincide con la estructura de Lewis |N≡N| y explica la gran estabilidad del N_2 (945 kJ/mol, 110 pm), que lo hace tan poco reactivo.

Problema 3.13 · H_2^+, H_2^-, N_2^+ y O_2^+; puntos de ebullición AVANZADO

Oposiciones de Física y Química · Procedimiento selectivo de Galicia, 2003 · Química, cuestión Q4 (original escaneado; transcripción de FiQuiPedia)

Responda razonadamente las siguientes cuestiones:

a) A partir de la teoría de orbitales moleculares justifique si es posible que existan las especies: molécula de hidrógeno con una carga positiva y molécula de hidrógeno con una carga negativa. Determinar sus órdenes de enlace y sus configuraciones electrónicas. Sabiendo que la energía de enlace del H_2 es de 436 kJ/mol, estimar aproximadamente la de la molécula de hidrógeno con una carga positiva.

b) Considere la siguiente tabla:

ESPECIE	N_2	N_2^+	O_2	O_2^+
ENERGÍA DE ENLACE (kJ/mol)	945	841	498	623
LONGITUD DE ENLACE (pm)	110	112	121	112

Puede observarse que al eliminar un electrón del N_2 se forma un ión con un enlace más débil y más largo que en la molécula original, mientras que en el ión formado de un O_2 tiene un enlace más fuerte y más corto. Explique estos hechos con diagramas que muestren la secuencia y la ocupación de los orbitales moleculares. ¿Qué carácter magnético tendrán las especies N_2^+ y O_2^+?

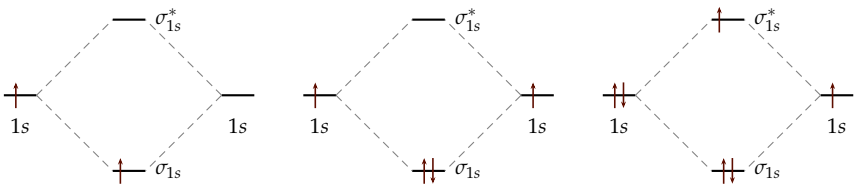
c) Clasifique las siguientes moléculas en orden creciente de sus puntos de ebullición: CCl_4, Cl_2, ClNO y N_2.

El plan a) Diagrama de H_2 con uno y con tres electrones; O.E. $\neq 0$ significa que la especie puede existir. Para estimar la energía, uso que la energía de enlace es aproximadamente proporcional al número de electrones enlazantes netos. b) Diagramas del N_2 (tipo B) y del O_2 (tipo A): miro de qué orbital sale el electrón. c) Fuerzas intermoleculares (tema 4): London, que crecen con el tamaño, más dipolo–dipolo si la molécula es polar.

Resolución

Paso 1. H_2^+ y H_2^- (a)

Los dos 1s dan σ_{1s} (enlazante) y σ_{1s}^* (antienlazante).



$$H_2^+ : \sigma_{1s}^1 \qquad \text{O.E.} = \frac{1-0}{2} = \frac{1}{2} \qquad \textit{1 electrón enlazante}$$

$$H_2^- : \sigma_{1s}^2\,\sigma_{1s}^{*1} \qquad \text{O.E.} = \frac{2-1}{2} = \frac{1}{2} \qquad \textit{3 electrones}$$

Las dos pueden existir (O.E. $= \frac{1}{2} \neq 0$), con un enlace más débil que el del H_2 (O.E. $= 1$)

El H_2^+ existe y es bien conocido: es la molécula más sencilla posible. El H_2^- es menos estable que el H_2^+, aunque tengan el mismo O.E., porque el antienlazante desestabiliza más de lo que

estabiliza el enlazante (lo vimos en la deducción de $E_{\pm}$). Además, hay repulsión entre los tres electrones. En la práctica, el H_2^- solo se detecta de forma transitoria.

Estimación de la energía del H_2^+. La energía de enlace es aproximadamente proporcional al O.E.:

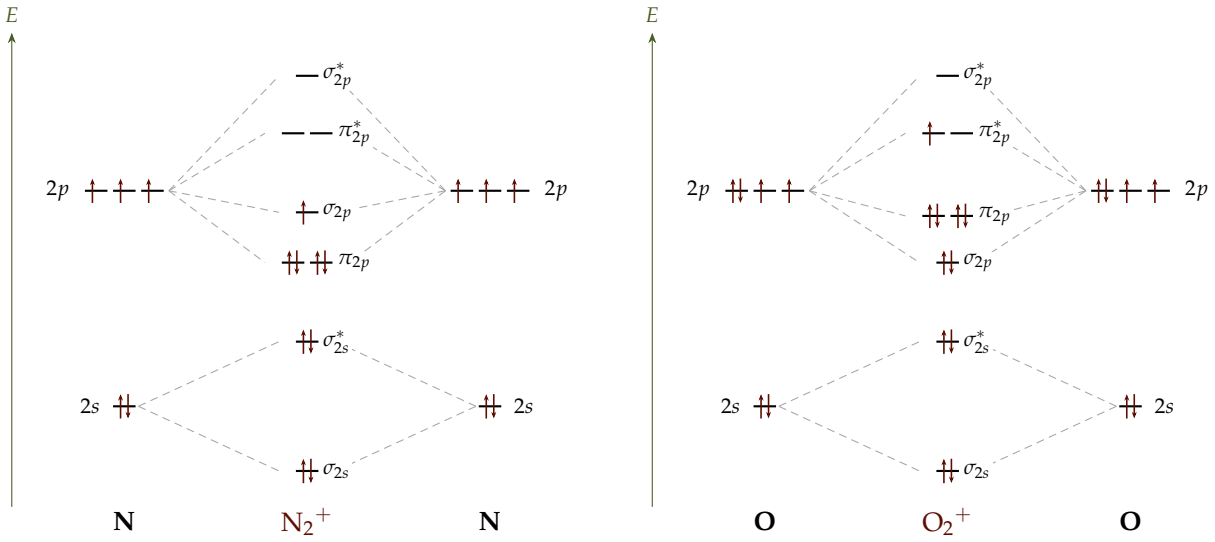
$$E(H_2^+) \approx \frac{\text{O.E.}(H_2^+)}{\text{O.E.}(H_2)} \cdot E(H_2) = \frac{1/2}{1} \cdot 436 \qquad \textit{la mitad de electrones enlazantes}$$

$$\boxed{E(H_2^+) \approx 218\ \text{kJ/mol}}$$

¿Por qué? *El valor real es mayor, unos 255 kJ/mol (2,65 eV). Con un solo electrón no hay repulsión electrón–electrón, así que ese electrón enlaza «más» que cada uno de los dos del H_2. La estimación da el orden de magnitud correcto.*

Paso 2. N_2 y N_2^+; O_2 y O_2^+ (b)

Represento los diagramas de orbitales moleculares de cada especie.



$$N_2:\ \ldots \pi_{2p}^4\,\sigma_{2p}^2\ (\text{O.E.}=3)\ \rightarrow\ N_2^+:\ \ldots \pi_{2p}^4\,\sigma_{2p}^1\ (\text{O.E.}=\tfrac{7-2}{2}=2{,}5) \qquad \textit{sale de un } \textbf{\textit{enlazante}}$$

$$O_2:\ \ldots \pi_{2p}^4\,\pi_{2p}^{*2}\ (\text{O.E.}=2)\ \rightarrow\ O_2^+:\ \ldots \pi_{2p}^4\,\pi_{2p}^{*1}\ (\text{O.E.}=\tfrac{8-3}{2}=2{,}5) \qquad \textit{sale de un } \textbf{\textit{antienlazante}}$$

- En el N_2 el HOMO (σ_{2p}) es enlazante. Al quitar un electrón, el O.E. baja ($3 \rightarrow 2{,}5$): el enlace se debilita ($945 \rightarrow 841$ kJ/mol) y se alarga ($110 \rightarrow 112$ pm).
- En el O_2 el HOMO (π^*_{2p}) es antienlazante. Al quitar un electrón, el O.E. sube ($2 \rightarrow 2{,}5$): el enlace se refuerza ($498 \rightarrow 623$ kJ/mol) y se acorta ($121 \rightarrow 112$ pm).

$$\boxed{N_2^+ \text{ y } O_2^+:\ \text{un electrón desapareado cada una}\ \Rightarrow\ \text{las dos son paramagnéticas}}$$

Paso 3. Puntos de ebullición (c)

Las cuatro sustancias son moleculares. Al hervir se rompen las fuerzas *entre* moléculas, no los enlaces covalentes (tema 4).

06

Fuerzas intermoleculares y enlace metálico

Apuntes y problemas

Fuerzas de van der Waals y enlace de hidrógeno; gases reales y cambios de estado (van der Waals, Clausius–Clapeyron, diagramas de fases); enlace metálico, teoría de bandas y tipos de sólidos.

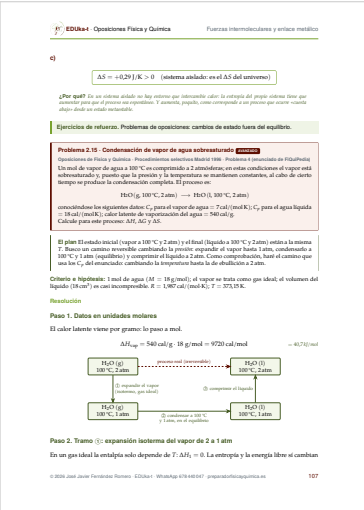
4 temas | 74 problemas | Oposiciones de toda España

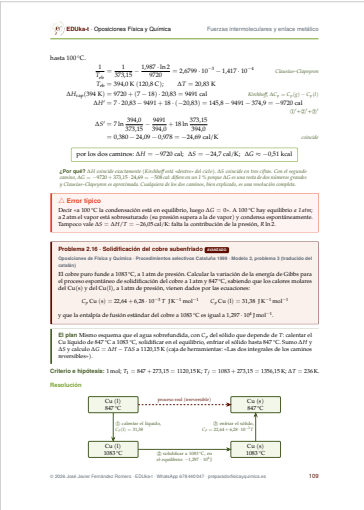
En esta muestra

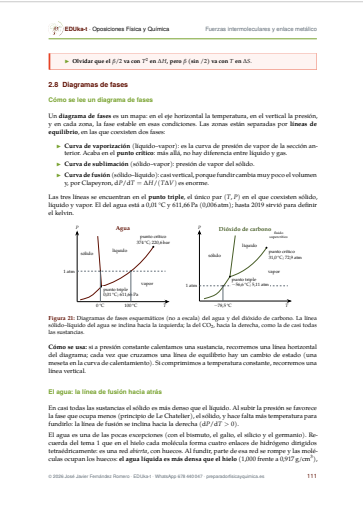
Problema 2.15 · Condensación de vapor de agua sobresaturado (Madrid 1996) 46

Problema 2.16 · Solidificación del cobre subenfriado (Cataluña 1999) 48

Teoría: diagramas de fases 50







c)

$$\Delta S = +0{,}29\ \text{J/K} > 0 \quad \text{(sistema aislado: es el } \Delta S \text{ del universo)}$$

¿Por qué? *En un sistema aislado no hay entorno que intercambie calor: la entropía del propio sistema tiene que aumentar para que el proceso sea espontáneo. Y aumenta, poquito, como corresponde a un proceso que ocurre «cuesta abajo» desde un estado metaestable.*

Ejercicios de refuerzo. Problemas de oposiciones: cambios de estado fuera del equilibrio.

Problema 2.15 · Condensación de vapor de agua sobresaturado AVANZADO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos Madrid 1996 · Problema 4 (enunciado de FiQuiPedia)

Un mol de vapor de agua a 100 °C es comprimido a 2 atmósferas; en estas condiciones el vapor está sobresaturado y, puesto que la presión y la temperatura se mantienen constantes, al cabo de cierto tiempo se produce la condensación completa. El proceso es:

$$\mathrm{H_2O\,(g,\,100\,°C,\,2\,atm)} \longrightarrow \mathrm{H_2O\,(l,\,100\,°C,\,2\,atm)}$$

conociéndose los siguientes datos: C_p para el vapor de agua $= 7$ cal/(mol K); C_p para el agua líquida $= 18$ cal/(mol K); calor latente de vaporización del agua $= 540$ cal/g.
Calcule para este proceso: ΔH, ΔG y ΔS.

El plan El estado inicial (vapor a 100 °C y 2 atm) y el final (líquido a 100 °C y 2 atm) están a la misma T. Busco un camino reversible cambiando la *presión*: expandir el vapor hasta 1 atm, condensarlo a 100 °C y 1 atm (equilibrio) y comprimir el líquido a 2 atm. Como comprobación, haré el camino que usa los C_p del enunciado: cambiando la *temperatura* hasta la de ebullición a 2 atm.

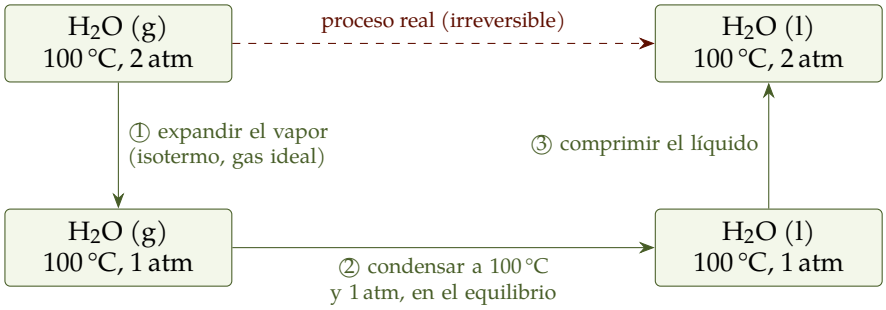
Criterio e hipótesis: 1 mol de agua ($M = 18$ g/mol); el vapor se trata como gas ideal; el volumen del líquido (18 cm^3) es casi incompresible. $R = 1{,}987$ cal/(mol·K); $T = 373{,}15$ K.

Resolución

Paso 1. Datos en unidades molares

El calor latente viene por gramo: lo paso a mol.

$$\Delta H_{\text{vap}} = 540\ \text{cal/g} \cdot 18\ \text{g/mol} = 9720\ \text{cal/mol} \qquad = 40{,}7\ kJ/mol$$



Paso 2. Tramo ①: expansión isoterma del vapor de 2 a 1 atm

En un gas ideal la entalpía solo depende de T: $\Delta H_1 = 0$. La entropía y la energía libre sí cambian

con la presión: $\Delta S = -R\ln(P_2/P_1)$ y $\Delta G = RT\ln(P_2/P_1)$ (de $\mathrm{d}G = V\mathrm{d}P$ con $V = RT/P$).

$$\Delta H_1 = 0 \qquad \textit{gas ideal, } T \textit{ constante}$$
$$\Delta S_1 = -R\ln\frac{1}{2} = R\ln 2 = 1{,}987 \cdot 0{,}6931 = +1{,}377 \text{ cal/K} \qquad \textit{se expande: más desorden}$$
$$\Delta G_1 = RT\ln\frac{1}{2} = -1{,}987 \cdot 373{,}15 \cdot 0{,}6931 = -513{,}9 \text{ cal}$$

Paso 3. Tramo ②: condensación a 100 °C y 1 atm

Es el cambio de estado en su punto de equilibrio: reversible, $\Delta G = 0$.

$$\Delta H_2 = -9720 \text{ cal} \qquad \textit{condensar: } -\Delta H_{vap}$$
$$\Delta S_2 = \frac{-9720}{373{,}15} = -26{,}05 \text{ cal/K} \qquad \textit{equilibrio: } \Delta H/T$$
$$\Delta G_2 = 0 \qquad \textit{equilibrio}$$

Paso 4. Tramo ③: compresión del líquido de 1 a 2 atm

Para un líquido casi incompresible, $\Delta G \approx \Delta H \approx V\Delta P$ y $\Delta S \approx 0$.

$$V\Delta P = 0{,}018 \text{ L} \cdot 1 \text{ atm} = 0{,}018 \text{ atm·L} = 1{,}82 \text{ J} = 0{,}44 \text{ cal} \qquad \textit{1 atm·L = 101,3 J}$$
$$\Delta H_3 \approx \Delta G_3 \approx +0{,}44 \text{ cal}; \qquad \Delta S_3 \approx 0 \qquad \textit{despreciable}$$

Paso 5. Totales

Sumo los tres pasos.

$$\Delta H = 0 - 9720 + 0{,}4 = -9720 \text{ cal} \qquad ①+②+③$$
$$\Delta S = 1{,}377 - 26{,}05 + 0 = -24{,}67 \text{ cal/K}$$
$$\Delta G = -513{,}9 + 0 + 0{,}4 = -513{,}5 \text{ cal}$$
$$\Delta H - T\Delta S = -9720 + 373{,}15 \cdot 24{,}67 = -514 \text{ cal} \checkmark \qquad \textit{comprobación}$$

$$\Delta H \approx -9{,}72 \text{ kcal } (-40{,}7 \text{ kJ}); \qquad \Delta S \approx -24{,}7 \text{ cal/K } (-103 \text{ J/K})$$
$$\Delta G \approx -0{,}51 \text{ kcal } (-2{,}15 \text{ kJ})$$

¿Por qué? *$\Delta G < 0$: la condensación del vapor sobresaturado es espontánea, como dice el enunciado. Todo el ΔG sale del paso ①: el vapor a 2 atm tiene más energía libre que a 1 atm ($RT\ln 2$ por mol), y esa es justo la «fuerza» que empuja a condensar.*

Paso 6. Comprobación por el camino de las temperaturas (el que usa los C_p)

A 2 atm el agua hierve por encima de 100 °C. La calculo con Clausius–Clapeyron, y luego: ①′ calentar el vapor a 2 atm hasta esa temperatura; ②′ condensar allí (equilibrio); ③′ enfriar el líquido

hasta 100 °C.

$$\frac{1}{T_{eb}} = \frac{1}{373{,}15} - \frac{1{,}987 \cdot \ln 2}{9720} = 2{,}6799 \cdot 10^{-3} - 1{,}417 \cdot 10^{-4} \qquad \textit{Clausius–Clapeyron}$$

$$T_{eb} = 394{,}0\ \text{K}\ (120{,}8\ \text{C}); \qquad \Delta T = 20{,}83\ \text{K}$$

$$\Delta H_{vap}(394\ \text{K}) = 9720 + (7-18)\cdot 20{,}83 = 9491\ \text{cal} \qquad \textit{Kirchhoff, } \Delta C_p = C_p(g) - C_p(l)$$

$$\Delta H' = 7 \cdot 20{,}83 - 9491 + 18 \cdot (-20{,}83) = 145{,}8 - 9491 - 374{,}9 = -9720\ \text{cal} \qquad ①'+②'+③'$$

$$\Delta S' = 7 \ln \frac{394{,}0}{373{,}15} - \frac{9491}{394{,}0} + 18 \ln \frac{373{,}15}{394{,}0}$$
$$= 0{,}380 - 24{,}09 - 0{,}978 = -24{,}69\ \text{cal/K} \qquad \textit{coincide}$$

por los dos caminos: $\Delta H = -9720$ cal; $\Delta S = -24{,}7$ cal/K; $\Delta G \approx -0{,}51$ kcal

¿Por qué? *ΔH coincide exactamente (Kirchhoff está «dentro» del ciclo). ΔS coincide en tres cifras. Con el segundo camino, $\Delta G = -9720 + 373{,}15 \cdot 24{,}69 = -508$ cal: difiere en un 1 % porque ΔG es una resta de dos números grandes y Clausius–Clapeyron es aproximada. Cualquiera de los dos caminos, bien explicado, es una resolución completa.*

△ Error típico

Decir «a 100 °C la condensación está en equilibrio, luego $\Delta G = 0$». A 100 °C hay equilibrio *a 1 atm*; a 2 atm el vapor está sobresaturado (su presión supera a la de vapor) y condensa espontáneamente. Tampoco vale $\Delta S = \Delta H/T = -26{,}05$ cal/K: falta la contribución de la presión, $R \ln 2$.

Problema 2.16 · Solidificación del cobre subenfriado AVANZADO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos Cataluña 1999 · Modelo 2, problema 3 (traducido del catalán)

El cobre puro funde a 1083 °C, a 1 atm de presión. Calcular la variación de la energía de Gibbs para el proceso espontáneo de solidificación del cobre a 1 atm y 847 °C, sabiendo que los calores molares del Cu(s) y del Cu(l), a 1 atm de presión, vienen dados por las ecuaciones:

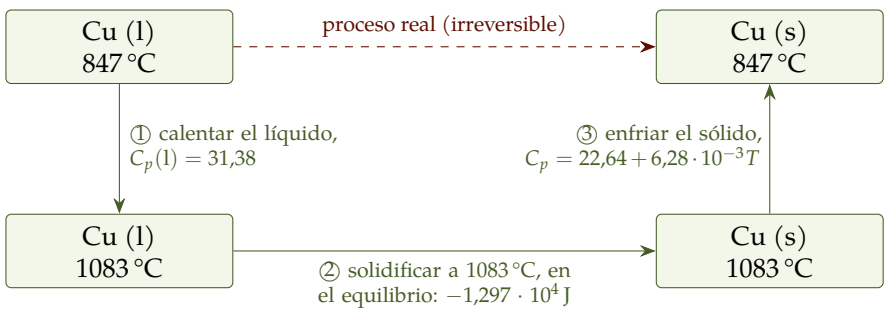
$$C_p\,\text{Cu (s)} = 22{,}64 + 6{,}28 \cdot 10^{-3}\,T\ \text{J K}^{-1}\,\text{mol}^{-1} \qquad C_p\,\text{Cu (l)} = 31{,}38\ \text{J K}^{-1}\,\text{mol}^{-1}$$

y que la entalpía de fusión estándar del cobre a 1083 °C es igual a $1{,}297 \cdot 10^4$ J mol^{-1}.

El plan Mismo esquema que el agua sobrefundida, con C_p del sólido que depende de T: calentar el Cu líquido de 847 °C a 1083 °C, solidificar en el equilibrio, enfriar el sólido hasta 847 °C. Sumo ΔH y ΔS y calculo $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ a 1120,15 K (caja de herramientas: «Las dos integrales de los caminos reversibles»).

Criterio e hipótesis: 1 mol; $T_1 = 847 + 273{,}15 = 1120{,}15$ K; $T_f = 1083 + 273{,}15 = 1356{,}15$ K; $\Delta T = 236$ K.

Resolución



Paso 1. Tramo ①: calentar el cobre líquido

C_p constante.

$$\Delta H_1 = 31{,}38 \cdot (1356{,}15 - 1120{,}15) = 31{,}38 \cdot 236 = +7406\ \text{J}$$
$$\Delta S_1 = 31{,}38 \cdot \ln\frac{1356{,}15}{1120{,}15} = 31{,}38 \cdot 0{,}19119 = +6{,}00\ \text{J/K}$$

Paso 2. Tramo ②: solidificar a 1083 °C

Cambio de estado en el equilibrio.

$$\Delta H_2 = -12\,970\ \text{J} \qquad -\Delta H_{fus}$$
$$\Delta S_2 = \frac{-12\,970}{1356{,}15} = -9{,}56\ \text{J/K} \qquad \Delta H/T_f$$

Paso 3. Tramo ③: enfriar el cobre sólido

Ahora $C_p = \alpha + \beta T$, con $\alpha = 22{,}64$ y $\beta = 6{,}28 \cdot 10^{-3}$. Integro de T_f a T_1.

$$\Delta H_3 = \alpha(T_1 - T_f) + \frac{\beta}{2}(T_1^2 - T_f^2) \qquad \int (\alpha + \beta T)\mathrm{d}T$$
$$= 22{,}64 \cdot (-236) + 3{,}14 \cdot 10^{-3} \cdot (1\,254\,736 - 1\,839\,143)$$
$$= -5343 - 1835 = -7178\ \text{J}$$
$$\Delta S_3 = \alpha \ln\frac{T_1}{T_f} + \beta(T_1 - T_f) \qquad \int \tfrac{\alpha+\beta T}{T}\mathrm{d}T$$
$$= 22{,}64 \cdot (-0{,}19119) + 6{,}28 \cdot 10^{-3} \cdot (-236) = -4{,}329 - 1{,}482 = -5{,}81\ \text{J/K}$$

Paso 4. Totales y energía de Gibbs

Sumo y aplico $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ a 1120,15 K.

$$\Delta H = 7406 - 12\,970 - 7178 = -12\,742\ \text{J} \qquad ①+②+③$$
$$\Delta S = 6{,}00 - 9{,}56 - 5{,}81 = -9{,}375\ \text{J/K}$$
$$\Delta G = -12\,742 - 1120{,}15 \cdot (-9{,}375) = -12\,742 + 10\,501 = -2241\ \text{J}$$

$$\Delta G(\text{solidificación a 847 C}) \approx -2{,}24\ \text{kJ/mol}$$
$$(\Delta H = -12{,}74\ \text{kJ/mol};\ \ \Delta S = -9{,}38\ \text{J/(mol·K)})$$

¿Por qué? *Comprobación rápida: si se ignoran los C_p, $\Delta H \approx -12\,970\,J$ y $\Delta S \approx -12\,970/1356{,}15$, y $\Delta G \approx -\Delta H_{fus}\dfrac{T_f - T}{T_f} = -12\,970 \cdot \dfrac{236}{1356{,}15} = -2257\,J$. Sale casi lo mismo: los términos de C_p se compensan en buena parte entre ΔH y $T\Delta S$. Es la «fuerza motriz» de la solidificación, proporcional al subenfriamiento.*

△ Error típico

- **Tratar el C_p del sólido como constante** (por ejemplo, evaluado a una temperatura): hay que integrar $\alpha + \beta T$; el término β aporta 1835 J a ΔH.
- **Usar grados Celsius en T^2 o en** ln: todo en kelvin.

- **Olvidar que el $\beta/2$ va con T^2 en ΔH, pero β (sin $/2$) va con T en ΔS.**

2.8 Diagramas de fases

Cómo se lee un diagrama de fases

Un **diagrama de fases** es un mapa: en el eje horizontal la temperatura, en el vertical la presión, y en cada zona, la fase estable en esas condiciones. Las zonas están separadas por **líneas de equilibrio**, en las que coexisten dos fases:

- **Curva de vaporización** (líquido–vapor): es la curva de presión de vapor de la sección anterior. Acaba en el **punto crítico**: más allá, no hay diferencia entre líquido y gas.
- **Curva de sublimación** (sólido–vapor): presión de vapor del sólido.
- **Curva de fusión** (sólido–líquido): casi vertical, porque fundir cambia muy poco el volumen y, por Clapeyron, $\mathrm{d}P/\mathrm{d}T = \Delta H/(T\Delta V)$ es enorme.

Las tres líneas se encuentran en el **punto triple**, el único par (T, P) en el que coexisten sólido, líquido y vapor. El del agua está a 0,01 °C y 611,66 Pa (0,006 atm); hasta 2019 sirvió para definir el kelvin.

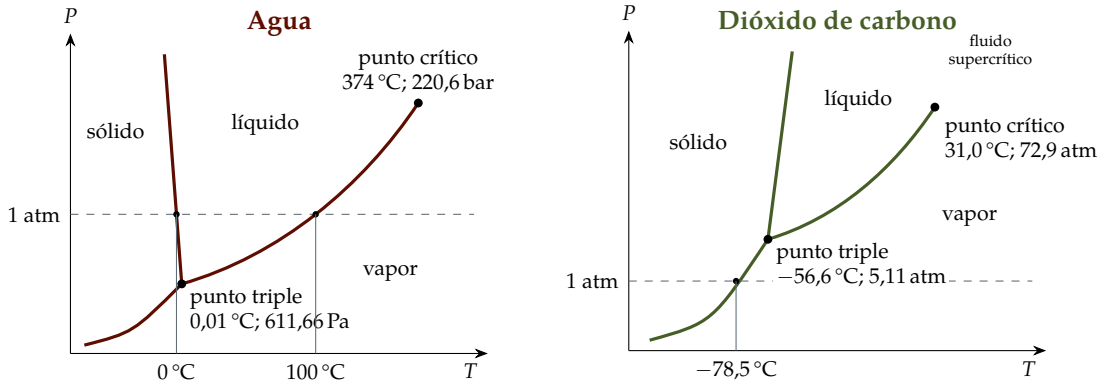


Figura 21: Diagramas de fases esquemáticos (no a escala) del agua y del dióxido de carbono. La línea sólido–líquido del agua se inclina hacia la izquierda; la del CO_2, hacia la derecha, como la de casi todas las sustancias.

Cómo se usa: si a presión constante calentamos una sustancia, recorremos una línea horizontal del diagrama; cada vez que cruzamos una línea de equilibrio hay un cambio de estado (una meseta en la curva de calentamiento). Si comprimimos a temperatura constante, recorremos una línea vertical.

El agua: la línea de fusión hacia atrás

En casi todas las sustancias el sólido es más denso que el líquido. Al subir la presión se favorece la fase que ocupa menos (principio de Le Chatelier), el sólido, y hace falta más temperatura para fundirlo: la línea de fusión se inclina hacia la derecha ($\mathrm{d}P/\mathrm{d}T > 0$).

El agua es una de las pocas excepciones (con el bismuto, el galio, el silicio y el germanio). Recuerda del tema 1 que en el hielo cada molécula forma cuatro enlaces de hidrógeno dirigidos tetraédricamente: es una red *abierta*, con huecos. Al fundir, parte de esa red se rompe y las moléculas ocupan los huecos: **el agua líquida es más densa que el hielo** (1,000 frente a 0,917 $\mathrm{g/cm^3}$),

07

Cinética química

Apuntes y problemas

Velocidad de reacción, ecuación de velocidad, ecuaciones integradas, métodos experimentales, Arrhenius, mecanismos y catálisis. Lleva caja de herramientas matemáticas, ejemplos de clase, ejercicios de refuerzo y problemas de oposición.

8 temas **81 problemas** **28 de oposiciones**

En esta muestra

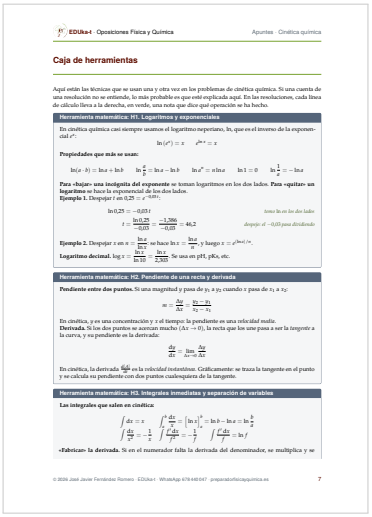
Caja de herramientas: logaritmos, pendientes e integrales 52

Apertura del tema 2 y ejemplo de clase: método de las velocidades iniciales 53

Problema 2.8 · Refuerzo EDUka-t (avanzado): velocidad con presiones parciales 55

Problema 2.9 · Tres reactivos y un orden cero (Castilla-La Mancha 1998) 56

Problema 2.10 · Un orden fraccionario (Galicia 2019 y Baleares 2021) 57



EDUka-t · Oposiciones Física y Química — Apuntes · Cinética química

Caja de herramientas

Aquí están las técnicas que se usan una y otra vez en los problemas de cinética química. Si una cuenta da una resolución no se entiende, lo más probable es que esté explicada aquí. En las resoluciones, cada línea de cálculo lleva a la derecha, en verde, una nota que dice qué operación se ha hecho.

Herramienta matemática: H1. Logaritmos y exponenciales

En cinética química casi siempre usamos el logaritmo neperiano, ln, que es el inverso de la exponencial e^x.

$$\ln(e^x) = x \qquad e^{\ln x} = x$$

Propiedades que más se usan:

$$\ln(a \cdot b) = \ln a + \ln b \qquad \ln\frac{a}{b} = \ln a - \ln b \qquad \ln a^n = n \ln a \qquad \ln 1 = 0 \qquad \ln\frac{1}{a} = -\ln a$$

Para «bajar» una incógnita del exponente se toman logaritmos en los dos lados. Para «quitar» un logaritmo se hace la exponencial de los dos lados.

Ejemplo 1. Despejar t en $0{,}25 = e^{-0{,}03\,t}$.

$$\ln 0{,}25 = -0{,}03\,t \qquad \text{toma ln en los dos lados}$$

$$t = \frac{\ln 0{,}25}{-0{,}03} = \frac{-1{,}386}{-0{,}03} = 46{,}2 \qquad \text{después el } -0{,}03 \text{ pasa dividiendo}$$

Ejemplo 2. Despejar x en $x = \frac{\ln x}{2{,}303}$ se hace $\ln x = \frac{\ln x}{x}$, y hago $x = e^{\ln x / x}$.

Logaritmo decimal. $\log x = \frac{\ln x}{\ln 10} = \frac{\ln x}{2{,}303}$. Se usa en pH, pKa, etc.

Herramienta matemática: H2. Pendiente de una recta y derivada

Pendiente entre dos puntos. Si una magnitud y pasa de y_1 a y_2 cuando x pasa de x_1 a x_2:

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

En cinética, y es una concentración y x el tiempo: la pendiente es una *velocidad media*.

Derivada. Si los dos puntos se acercan mucho ($\Delta x \to 0$), la recta que los une pasa a ser la *tangente* a la curva, y su pendiente es la derivada:

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

En cinética, la derivada $\frac{d[A]}{dt}$ es la *velocidad instantánea*. Gráficamente: se traza la tangente en el punto y se calcula su pendiente con dos puntos cualesquiera de la tangente.

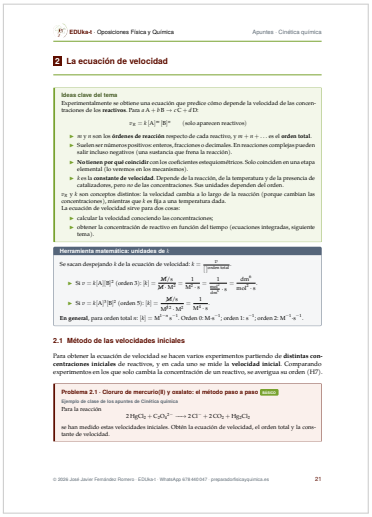
Herramienta matemática: H3. Integrales inmediatas y separación de variables

Las integrales que salen en cinética:

$$\int dx = x \qquad \int \frac{dx}{x} = \ln|x| \Big|_a^b = \ln b - \ln a = \ln\frac{b}{a}$$

$$\int \frac{dx}{x^2} = -\frac{1}{x} \qquad \int \frac{f'\,dx}{f^2} = -\frac{1}{f} \qquad \int \frac{f'\,dx}{f} = \ln f$$

«Fabrican» la derivada. Si en el numerador falta la derivada del denominador, se multiplica y se



EDUka-t · Oposiciones Física y Química — Apuntes · Cinética química

2 La ecuación de velocidad

Ideas clave del tema

Experimentalmente se obtiene una ecuación que predice cómo depende la velocidad de las concentraciones de los reactivos. Para $aA + bB \to cC + dD$:

$$v_R = k\,[A]^m\,[B]^n \qquad \text{(solo aparecen reactivos)}$$

- m y n son los **órdenes de reacción** respecto de cada reactivo, y $m + n + \ldots$ es el **orden total**.
- Suelen ser números positivos: enteros, fracciones o decimales. En reacciones complejas pueden salir incluso negativos (una sustancia que frena la reacción).
- **No tienen por qué coincidir** con los coeficientes estequiométricos. Solo coinciden en una etapa elemental (lo veremos en los mecanismos).
- k es la **constante de velocidad**. Depende de la reacción, de la temperatura y de la presencia de catalizadores, pero *no* de las concentraciones. Sus unidades dependen del orden.

v_R y k son conceptos distintos: la velocidad cambia a lo largo de la reacción (porque cambian las concentraciones), mientras que k es fija a una temperatura dada.

La ecuación de velocidad sirve para dos cosas:

- calcular la velocidad conociendo las concentraciones;
- obtener la concentración de reactivo en función del tiempo (ecuaciones integradas, siguiente tema).

Herramienta matemática: unidades de k

Se sacan despejando k de la ecuación de velocidad: $k = \frac{v}{[\text{concentración}]^{\text{orden total}}}$

- Si $v = k[A][B]^2$ (orden 3): $[k] = \frac{M/s}{M \cdot M^2} = \frac{1}{M^3 \cdot s} = \frac{1}{\text{mol}^3 \cdot s} = \frac{dm^6}{mol^2 \cdot s}$
- Si $v = k[A]^2[B]^2$ (orden 5): $[k] = \frac{M/s}{M^2 \cdot M^2} = \frac{1}{M^3 \cdot s}$

En general, para orden total n: $[k] = M^{1-n} \cdot s^{-1}$. Orden 0: $M \cdot s^{-1}$; orden 1: s^{-1}; orden 2: $M^{-1} \cdot s^{-1}$.

2.1 Método de las velocidades iniciales

Para obtener la ecuación de velocidad se hacen varios experimentos partiendo de **distintas concentraciones iniciales** de reactivos, y en cada uno se mide la **velocidad inicial**. Comparando experimentos en los que solo cambia la concentración de un reactivo, se averigua su orden (H7).

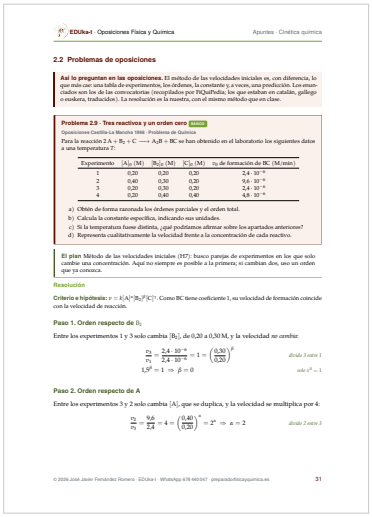
Problema 2.1 · Cloruro de mercurio(II) y oxalato: el método paso a paso Básico

Ejemplo de clase de los apuntes de Cinética química

Para la reacción

$$2\,HgCl_2 + C_2O_4^{2-} \longrightarrow 2\,Cl^- + 2\,CO_2 + Hg_2Cl_2$$

se han medido estas velocidades iniciales. Obtén la ecuación de velocidad, el orden total y la constante de velocidad.



EDUka-t · Oposiciones Física y Química — Apuntes · Cinética química

2.2 Problemas de oposiciones

Así lo preguntan en las oposiciones. El método de las velocidades iniciales es, con diferencia, lo que más cae: una tabla de experimentos, los órdenes, la constante y a veces, una predicción. Los enunciados son los de las convocatorias (recopilados por PiQuePedia; los que estaban en catalán, gallego o euskera, traducidos). La resolución es la nuestra, con el mismo método que en clase.

Problema 2.9 · Tres reactivos y un orden cero Medio

Oposiciones Castilla-La Mancha 1998 · Problema de Química

Para la reacción $2\,A + B_2 + C \longrightarrow A_2B + BC$ se han obtenido en el laboratorio los siguientes datos a una temperatura T:

Experimento	$[A]_0$ (M)	$[B_2]_0$ (M)	$[C]_0$ (M)	v_0 de formación de BC (M/min)
1	0,20	0,20	0,20	$2{,}4 \cdot 10^{-4}$
2	0,40	0,20	0,20	$9{,}6 \cdot 10^{-4}$
3	0,20	0,30	0,20	$2{,}4 \cdot 10^{-4}$
4	0,20	0,40	0,40	$4{,}8 \cdot 10^{-4}$

a) Obtén de forma razonada los órdenes parciales y el orden total.
b) Calcula la constante específica, indicando sus unidades.
c) Si la temperatura fuese distinta, ¿qué podríamos afirmar sobre los apartados anteriores?
d) Representa cualitativamente la velocidad frente a la concentración de cada reactivo.

El plan Método de las velocidades iniciales (H7): hacen parejas de experimentos en los que solo cambie una concentración. Aquí no siempre es posible a la primera; si cambian dos, uno un orden que ya conocía.

Resolución

Criterio e hipótesis: $v = k[A]^\alpha[B_2]^\beta[C]^\gamma$. Como BC tiene coeficiente 1, su velocidad de formación coincide con la velocidad de reacción.

Paso 1. Orden respecto de B_2

Entre los experimentos 1 y 3 solo cambia $[B_2]_0$ de 0,20 a 0,30 M, y la velocidad *no cambia*:

$$\frac{v_3}{v_1} = \frac{2{,}4 \cdot 10^{-4}}{2{,}4 \cdot 10^{-4}} = 1 = \left(\frac{0{,}30}{0{,}20}\right)^\beta \qquad \text{divide 3 entre 1}$$

$$1{,}5^\beta = 1 \;\Rightarrow\; \beta = 0 \qquad \text{solo } x^0 = 1$$

Paso 2. Orden respecto de A

Entre los experimentos 3 y 2 solo cambia $[A]_0$, que se duplica, y la velocidad se multiplica por 4:

$$\frac{v_2}{v_3} = \frac{9{,}6}{2{,}4} = 4 = \left(\frac{0{,}40}{0{,}20}\right)^\alpha = 2^\alpha \;\Rightarrow\; \alpha = 2 \qquad \text{divide 2 entre 3}$$

Caja de herramientas

Aquí están las técnicas que se usan una y otra vez en los problemas de cinética química. Si una cuenta de una resolución no se entiende, lo más probable es que esté explicada aquí. En las resoluciones, cada línea de cálculo lleva a la derecha, en verde, una nota que dice qué operación se ha hecho.

Herramienta matemática: H1. Logaritmos y exponenciales

En cinética química casi siempre usamos el logaritmo neperiano, ln, que es el inverso de la exponencial e^x:

$$\ln(e^x) = x \qquad e^{\ln x} = x$$

Propiedades que más se usan:

$$\ln(a\cdot b) = \ln a + \ln b \qquad \ln\frac{a}{b} = \ln a - \ln b \qquad \ln a^n = n\ln a \qquad \ln 1 = 0 \qquad \ln\frac{1}{a} = -\ln a$$

Para «bajar» una incógnita del exponente se toman logaritmos en los dos lados. **Para «quitar» un logaritmo** se hace la exponencial de los dos lados.
Ejemplo 1. Despejar t en $0{,}25 = e^{-0{,}03\,t}$:

$$\ln 0{,}25 = -0{,}03\,t \qquad \textit{tomo ln en los dos lados}$$
$$t = \frac{\ln 0{,}25}{-0{,}03} = \frac{-1{,}386}{-0{,}03} = 46{,}2 \qquad \textit{despejo: el } -0{,}03 \textit{ pasa dividiendo}$$

Ejemplo 2. Despejar x en $n = \dfrac{\ln a}{\ln x}$: se hace $\ln x = \dfrac{\ln a}{n}$, y luego $x = e^{(\ln a)/n}$.
Logaritmo decimal. $\log x = \dfrac{\ln x}{\ln 10} = \dfrac{\ln x}{2{,}303}$. Se usa en pH, pKs, etc.

Herramienta matemática: H2. Pendiente de una recta y derivada

Pendiente entre dos puntos. Si una magnitud y pasa de y_1 a y_2 cuando x pasa de x_1 a x_2:

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

En cinética, y es una concentración y x el tiempo: la pendiente es una *velocidad media*.
Derivada. Si los dos puntos se acercan mucho ($\Delta x \to 0$), la recta que los une pasa a ser la *tangente* a la curva, y su pendiente es la derivada:

$$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x} = \lim_{\Delta x\to 0}\frac{\Delta y}{\Delta x}$$

En cinética, la derivada $\frac{\mathrm{d}[A]}{\mathrm{d}t}$ es la *velocidad instantánea*. Gráficamente: se traza la tangente en el punto y se calcula su pendiente con dos puntos cualesquiera de la tangente.

Herramienta matemática: H3. Integrales inmediatas y separación de variables

Las integrales que salen en cinética:

$$\int \mathrm{d}x = x \qquad \int_a^b \frac{\mathrm{d}x}{x} = \Big[\ln x\Big]_a^b = \ln b - \ln a = \ln\frac{b}{a}$$
$$\int \frac{\mathrm{d}x}{x^2} = -\frac{1}{x} \qquad \int \frac{f'\,\mathrm{d}x}{f^2} = -\frac{1}{f} \qquad \int \frac{f'\,\mathrm{d}x}{f} = \ln f$$

«Fabricar» la derivada. Si en el numerador falta la derivada del denominador, se multiplica y se

2 La ecuación de velocidad

Ideas clave del tema

Experimentalmente se obtiene una ecuación que predice cómo depende la velocidad de las concentraciones de los **reactivos**. Para $a\,A + b\,B \rightarrow c\,C + d\,D$:

$$v_R = k\,[A]^m\,[B]^n \qquad \text{(solo aparecen reactivos)}$$

- m y n son los **órdenes de reacción** respecto de cada reactivo, y $m + n + \ldots$ es el **orden total**.
- Suelen ser números positivos: enteros, fracciones o decimales. En reacciones complejas pueden salir incluso negativos (una sustancia que frena la reacción).
- **No tienen por qué coincidir** con los coeficientes estequiométricos. Solo coinciden en una etapa elemental (lo veremos en los mecanismos).
- k es la **constante de velocidad**. Depende de la reacción, de la temperatura y de la presencia de catalizadores, pero *no* de las concentraciones. Sus unidades dependen del orden.

v_R y k son conceptos distintos: la velocidad cambia a lo largo de la reacción (porque cambian las concentraciones), mientras que k es fija a una temperatura dada.
La ecuación de velocidad sirve para dos cosas:

- calcular la velocidad conociendo las concentraciones;
- obtener la concentración de reactivo en función del tiempo (ecuaciones integradas, siguiente tema).

Herramienta matemática: unidades de k

Se sacan despejando k de la ecuación de velocidad: $k = \dfrac{v}{[\,]^{\text{orden total}}}$.

- Si $v = k[A][B]^2$ (orden 3): $[k] = \dfrac{\cancel{M}/s}{\cancel{M}\cdot M^2} = \dfrac{1}{M^2\cdot s} = \dfrac{1}{\frac{mol^2}{dm^6}\cdot s} = \dfrac{dm^6}{mol^2\cdot s}$.
- Si $v = k[A]^3[B]^2$ (orden 5): $[k] = \dfrac{\cancel{M}/s}{M^{\cancel{3}2}\cdot M^2} = \dfrac{1}{M^4\cdot s}$.

En general, para orden total n: $[k] = M^{1-n}\,s^{-1}$. Orden 0: $M\cdot s^{-1}$; orden 1: s^{-1}; orden 2: $M^{-1}\cdot s^{-1}$.

2.1 Método de las velocidades iniciales

Para obtener la ecuación de velocidad se hacen varios experimentos partiendo de **distintas concentraciones iniciales** de reactivos, y en cada uno se mide la **velocidad inicial**. Comparando experimentos en los que solo cambia la concentración de un reactivo, se averigua su orden (H7).

Problema 2.1 · Cloruro de mercurio(II) y oxalato: el método paso a paso BÁSICO

Ejemplo de clase de los apuntes de Cinética química

Para la reacción

$$2\,HgCl_2 + C_2O_4^{2-} \longrightarrow 2\,Cl^- + 2\,CO_2 + Hg_2Cl_2$$

se han medido estas velocidades iniciales. Obtén la ecuación de velocidad, el orden total y la constante de velocidad.

Experimento	$[HgCl_2]$ (M)	$[C_2O_4^{2-}]$ (M)	v_0 (M/min)
1	0,105	0,15	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$
2	0,105	0,30	$7{,}1 \cdot 10^{-5}$
3	0,052	0,30	$3{,}5 \cdot 10^{-5}$

El plan Escribimos la ecuación de velocidad con exponentes desconocidos, una por experimento, y dividimos parejas de ecuaciones en las que solo cambia una concentración: así k y el otro reactivo se simplifican.

Resolución

Criterio e hipótesis: $v = k\,[HgCl_2]^m\,[C_2O_4^{2-}]^n$.

Paso 1. Una ecuación por experimento

Escribo la ecuación de velocidad para cada experimento: tres ecuaciones con tres incógnitas (k, m y n).

$$\text{①}\ \ 1{,}8 \cdot 10^{-5} = k \cdot 0{,}105^m \cdot 0{,}15^n \qquad \text{②}\ \ 7{,}1 \cdot 10^{-5} = k \cdot 0{,}105^m \cdot 0{,}30^n$$

$$\text{③}\ \ 3{,}5 \cdot 10^{-5} = k \cdot 0{,}052^m \cdot 0{,}30^n$$

Paso 2. Orden respecto del oxalato: ②/①

Entre 1 y 2 solo cambia el oxalato (se duplica):

$$\frac{7{,}1 \cdot \cancel{10^{-5}}}{1{,}8 \cdot \cancel{10^{-5}}} = \frac{\cancel{k} \cdot \cancel{0{,}105^m} \cdot 0{,}30^n}{\cancel{k} \cdot \cancel{0{,}105^m} \cdot 0{,}15^n} \qquad \textit{divido: se van } k \textit{ y el } HgCl_2$$

$$3{,}94 = \left(\frac{0{,}30}{0{,}15}\right)^n = 2^n \qquad \textit{potencias de igual exponente}$$

$$n = 2 \qquad 2^2 = 4 \approx 3{,}94$$

Paso 3. Orden respecto del $HgCl_2$: ②/③

Entre 3 y 2 solo cambia el $HgCl_2$:

$$\frac{7{,}1}{3{,}5} = \frac{\cancel{k} \cdot 0{,}105^m \cdot \cancel{0{,}30^2}}{\cancel{k} \cdot 0{,}052^m \cdot \cancel{0{,}30^2}} \qquad \textit{divido}$$

$$2{,}03 = \left(\frac{0{,}105}{0{,}052}\right)^m = 2{,}02^m \ \Rightarrow\ m = 1 \qquad \textit{base y resultado casi iguales}$$

Paso 4. Constante de velocidad

De ①:

$$k = \frac{1{,}8 \cdot 10^{-5}}{0{,}105 \cdot 0{,}15^2} = \frac{1{,}8 \cdot 10^{-5}}{2{,}36 \cdot 10^{-3}} = 7{,}6 \cdot 10^{-3} \qquad \textit{despejo } k$$

$$[k] = \frac{\text{M/min}}{\text{M} \cdot \text{M}^2} = \text{M}^{-2}\,\text{min}^{-1} \qquad \textit{orden total 3}$$

$$v = 7{,}6 \cdot 10^{-3}\ \text{M}^{-2}\,\text{min}^{-1} \cdot [HgCl_2]\,[C_2O_4^{2-}]^2 \qquad (\text{orden total } m+n=3)$$

Ejercicios de refuerzo. Ecuación de velocidad con gases: de presiones a concentraciones y vuelta.

Problema 2.8 · Velocidad con presiones parciales: $2\,NO + O_2$ AVANZADO

Ejercicio de refuerzo de elaboración propia: parecido al anterior, con un paso más de dificultad

A 300 K la reacción $2\,NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\,NO_2(g)$ tiene la ecuación de velocidad $v_R = k[NO]^2[O_2]$, con $k = 7{,}1 \cdot 10^3\ M^{-2}s^{-1}$. En un instante dado, $p_{NO} = 0{,}20$ atm y $p_{O_2} = 0{,}10$ atm.

a) Calcula la velocidad de la reacción en M/s.

b) ¿A qué velocidad desaparece el NO, en M/s y en atm/s?

El plan Paso cada presión a concentración con $[\,] = \frac{P}{RT}$ (H6), aplico la ecuación de velocidad, multiplico por el coeficiente 2 del NO y vuelvo a presión multiplicando por RT.

Resolución

Criterio e hipótesis: $R = 0{,}082$ atm·L·mol^{-1}·K^{-1}; $RT = 0{,}082 \cdot 300 = 24{,}6$ atm·L/mol.

Paso 1. Concentraciones

La ecuación de velocidad usa concentraciones: paso las presiones con $[\,] = P/RT$.

$$[NO] = \frac{0{,}20}{24{,}6} = 8{,}13 \cdot 10^{-3}\ M \qquad [O_2] = \frac{0{,}10}{24{,}6} = 4{,}07 \cdot 10^{-3}\ M \qquad [\,] = P/RT$$

Paso 2. Velocidad de la reacción (a)

Sustituyo las concentraciones en la ecuación de velocidad.

$$\begin{aligned} v_R &= 7{,}1 \cdot 10^3 \cdot (8{,}13 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 4{,}07 \cdot 10^{-3} && \textit{sustituyo} \\ &= 7{,}1 \cdot 10^3 \cdot 6{,}61 \cdot 10^{-5} \cdot 4{,}07 \cdot 10^{-3} && \textit{elevo al cuadrado} \end{aligned}$$

$$\boxed{v_R \approx 1{,}9 \cdot 10^{-3}\ M/s}$$

Paso 3. Desaparición del NO (b)

El NO tiene coeficiente 2: desaparece al doble de v_R. Para la presión, multiplico por RT.

$$\begin{aligned} -\frac{d[NO]}{dt} &= 2\,v_R = 3{,}8 \cdot 10^{-3}\ M/s && \textit{coeficiente 2} \\ -\frac{dp_{NO}}{dt} &= RT \cdot \left(-\frac{d[NO]}{dt}\right) = 24{,}6 \cdot 3{,}8 \cdot 10^{-3} && p = [\,]\,RT \end{aligned}$$

$$\boxed{3{,}8 \cdot 10^{-3}\ M/s \qquad \approx 0{,}094\ atm/s}$$

△ Error típico

Meter las presiones directamente en $v = k[NO]^2[O_2]$ con la k en $M^{-2}s^{-1}$. Las unidades de k dicen qué hay que usar: aquí, concentraciones.

2.2 Problemas de oposiciones

Así lo preguntan en las oposiciones. El método de las velocidades iniciales es, con diferencia, lo que más cae: una tabla de experimentos, los órdenes, la constante y, a veces, una predicción. Los enunciados son los de las convocatorias (recopilados por FiQuiPedia; los que estaban en catalán, gallego o euskera, traducidos). La resolución es la nuestra, con el mismo método que en clase.

Problema 2.9 · Tres reactivos y un orden cero BÁSICO

Oposiciones Castilla-La Mancha 1998 · Problema de Química

Para la reacción $2\,A + B_2 + C \longrightarrow A_2B + BC$ se han obtenido en el laboratorio los siguientes datos a una temperatura T:

Experimento	$[A]_0$ (M)	$[B_2]_0$ (M)	$[C]_0$ (M)	v_0 de formación de BC (M/min)
1	0,20	0,20	0,20	$2{,}4 \cdot 10^{-6}$
2	0,40	0,30	0,20	$9{,}6 \cdot 10^{-6}$
3	0,20	0,30	0,20	$2{,}4 \cdot 10^{-6}$
4	0,20	0,40	0,40	$4{,}8 \cdot 10^{-6}$

a) Obtén de forma razonada los órdenes parciales y el orden total.
b) Calcula la constante específica, indicando sus unidades.
c) Si la temperatura fuese distinta, ¿qué podríamos afirmar sobre los apartados anteriores?
d) Representa cualitativamente la velocidad frente a la concentración de cada reactivo.

El plan Método de las velocidades iniciales (H7): busco parejas de experimentos en los que solo cambie una concentración. Aquí no siempre es posible a la primera; si cambian dos, uso un orden que ya conozca.

Resolución

Criterio e hipótesis: $v = k[A]^{\alpha}[B_2]^{\beta}[C]^{\gamma}$. Como BC tiene coeficiente 1, su velocidad de formación coincide con la velocidad de reacción.

Paso 1. Orden respecto de B_2

Entre los experimentos 1 y 3 solo cambia $[B_2]$, de 0,20 a 0,30 M, y la velocidad *no cambia*:

$$\frac{v_3}{v_1} = \frac{2{,}4 \cdot 10^{-6}}{2{,}4 \cdot 10^{-6}} = 1 = \left(\frac{0{,}30}{0{,}20}\right)^{\beta} \qquad \textit{divido 3 entre 1}$$

$$1{,}5^{\beta} = 1 \;\Rightarrow\; \beta = 0 \qquad \textit{solo } x^0 = 1$$

Paso 2. Orden respecto de A

Entre los experimentos 3 y 2 solo cambia $[A]$, que se duplica, y la velocidad se multiplica por 4:

$$\frac{v_2}{v_3} = \frac{9{,}6}{2{,}4} = 4 = \left(\frac{0{,}40}{0{,}20}\right)^{\alpha} = 2^{\alpha} \;\Rightarrow\; \alpha = 2 \qquad \textit{divido 2 entre 3}$$

Paso 3. Orden respecto de C

Entre 1 y 4 cambian $[B_2]$ y $[C]$ a la vez. No importa: ya sabemos que B_2 no influye ($\beta = 0$).

$$\frac{v_4}{v_1} = \frac{4{,}8}{2{,}4} = 2 = \cancel{\left(\frac{0{,}40}{0{,}20}\right)^{0}} \cdot \left(\frac{0{,}40}{0{,}20}\right)^{\gamma} = 2^{\gamma} \;\Rightarrow\; \gamma = 1 \qquad \text{dividido 4 entre 1}$$

$$v = k\,[A]^2[C] \qquad \text{órdenes parciales: 2 (A), 0 (B_2), 1 (C); orden total 3}$$

¿Por qué? *Los órdenes no coinciden con los coeficientes: el B_2, que participa en la reacción, no aparece en la ecuación de velocidad. Seguramente entra en una etapa rápida, posterior a la etapa lenta (tema 7).*

Paso 4. Constante (b)

Con los órdenes conocidos, despejo k de un experimento. Sus unidades salen del orden total.

$$k = \frac{v_1}{[A]^2[C]} = \frac{2{,}4\cdot 10^{-6}}{0{,}20^2 \cdot 0{,}20} = \frac{2{,}4\cdot 10^{-6}}{8{,}0\cdot 10^{-3}} \qquad \text{experimento 1 (los demás dan lo mismo)}$$

$$[k] = \frac{\mathrm{M/min}}{\mathrm{M^3}} = \mathrm{M^{-2}\,min^{-1}} \qquad [k] = M^{1-n} \text{ por tiempo, } n = 3$$

$$k = 3{,}0\cdot 10^{-4}\ \mathrm{M^{-2}\,min^{-1}} = 3{,}0\cdot 10^{-4}\ \mathrm{L^2\,mol^{-2}\,min^{-1}}$$

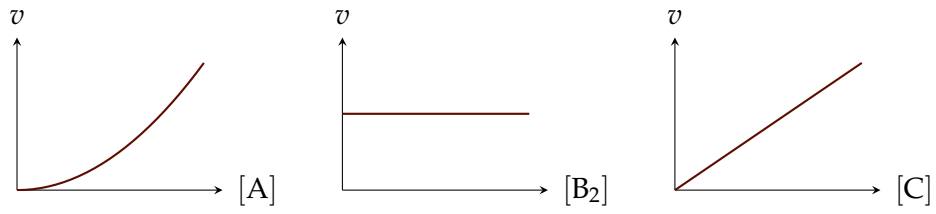
Paso 5. Otra temperatura (c)

La ecuación de velocidad y los órdenes son propios del mecanismo, y **no cambian** (salvo que a otra temperatura cambie el mecanismo, algo raro en un intervalo moderado). Lo que cambia es **la constante**: según Arrhenius, $k = A\,e^{-E_a/RT}$ aumenta al subir T y disminuye al bajarla.

Paso 6. Gráficas cualitativas (d)

Manteniendo fijas las otras concentraciones:

- frente a $[A]$: una **parábola** que sale del origen ($v \propto [A]^2$);
- frente a $[B_2]$: una **recta horizontal** (v no depende de ella);
- frente a $[C]$: una **recta** que pasa por el origen ($v \propto [C]$).



Problema 2.10 · Un orden fraccionario: la reacción $A + B + 2C \longrightarrow D + 3E$ MEDIO

Procedimientos selectivos Galicia 2019 · Problema A1. El mismo problema, con los mismos datos, cayó en Baleares 2021 (tribunal de Ibiza, A3)

Para determinar la cinética de la reacción $\mathrm{A} + \mathrm{B} + 2\,\mathrm{C} \longrightarrow \mathrm{D} + 3\,\mathrm{E}$ se midieron las velocidades iniciales para distintas concentraciones de reactivos, siempre a la misma presión y temperatura:

Exp.	[A] (mol/L)	[B] (mol/L)	[C] (mol/L)	v (mol/(L·h))
1	$2{,}0 \cdot 10^{-3}$	$3{,}0 \cdot 10^{-4}$	$1{,}5 \cdot 10^{-2}$	$2{,}73 \cdot 10^{-10}$
2	$2{,}0 \cdot 10^{-3}$	$3{,}0 \cdot 10^{-4}$	$3{,}0 \cdot 10^{-2}$	$10{,}92 \cdot 10^{-10}$
3	$2{,}0 \cdot 10^{-3}$	$3{,}1 \cdot 10^{-4}$	$3{,}2 \cdot 10^{-2}$	$12{,}62 \cdot 10^{-10}$
4	$2{,}0 \cdot 10^{-3}$	$6{,}2 \cdot 10^{-4}$	$3{,}2 \cdot 10^{-2}$	$17{,}85 \cdot 10^{-10}$
5	$2{,}5 \cdot 10^{-3}$	$6{,}5 \cdot 10^{-4}$	$3{,}2 \cdot 10^{-2}$	$22{,}84 \cdot 10^{-10}$
6	$5{,}0 \cdot 10^{-3}$	$6{,}5 \cdot 10^{-4}$	$3{,}2 \cdot 10^{-2}$	$45{,}68 \cdot 10^{-10}$

a) Deduce la expresión de la velocidad de reacción en función de las concentraciones.
b) ¿Cuál es el orden de reacción?
c) Determina la constante de velocidad.
d) Determina la velocidad inicial si la concentración inicial de las tres sustancias es $1{,}1 \cdot 10^{-4}$ M.

El plan Tabla grande, pero el método es el mismo (H7): para cada reactivo busco dos experimentos en los que *solo* cambie él. Aquí hay tres parejas limpias: 1–2 para C, 3–4 para B y 5–6 para A.

Resolución

Criterio e hipótesis: $v = k[\mathrm{A}]^{\alpha}[\mathrm{B}]^{\beta}[\mathrm{C}]^{\gamma}$; tiempo en horas.

Paso 1. Orden respecto de C (experimentos 1 y 2)

Solo cambia [C], que se duplica:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{10{,}92}{2{,}73} = 4{,}00 = 2^{\gamma} \;\Rightarrow\; \gamma = 2 \qquad \textit{la velocidad se cuadruplica}$$

Paso 2. Orden respecto de B (experimentos 3 y 4)

Solo cambia [B], que se duplica (de 3,1 a $6{,}2 \cdot 10^{-4}$):

$$\frac{v_4}{v_3} = \frac{17{,}85}{12{,}62} = 1{,}414 = 2^{\beta} \qquad \textit{divido 4 entre 3}$$

$$\beta = \frac{\ln 1{,}414}{\ln 2} = \frac{0{,}3466}{0{,}6931} = 0{,}50 \qquad \textit{tomo logaritmos (H1)}$$

¿Por qué? $1{,}414 = \sqrt{2}$: *al duplicar* [B] *la velocidad se multiplica por la raíz de 2. Es un orden fraccionario,* $\frac{1}{2}$*; aparece cuando el mecanismo tiene una etapa en la que una molécula se rompe en dos (tema 7).*

Paso 3. Orden respecto de A (experimentos 5 y 6)

Comparo dos experimentos en los que solo cambia A.

$$\frac{v_6}{v_5} = \frac{45{,}68}{22{,}84} = 2{,}00 = 2^{\alpha} \;\Rightarrow\; \alpha = 1 \qquad \textit{se duplica [A] y se duplica } v$$

$$\boxed{v = k\,[\mathrm{A}]\,[\mathrm{B}]^{1/2}\,[\mathrm{C}]^{2} \qquad \text{orden total } 1 + \tfrac{1}{2} + 2 = 3{,}5}$$

08

Equilibrio químico

Apuntes y problemas

Constantes de equilibrio, Le Chatelier, equilibrios homogéneos y heterogéneos, solubilidad, ácido-base, redox y equilibrios simultáneos, en 13 temas. Cada tema tiene ejercicios de refuerzo y problemas de oposición.

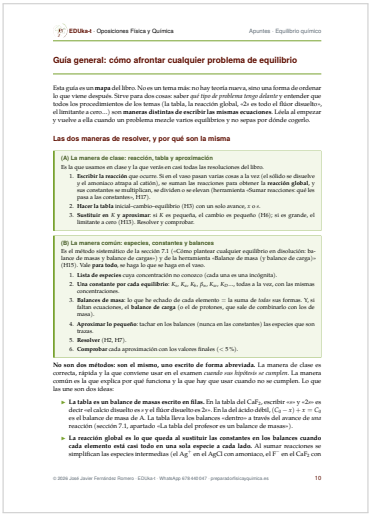
13 temas · 144 problemas · Oposiciones de toda España

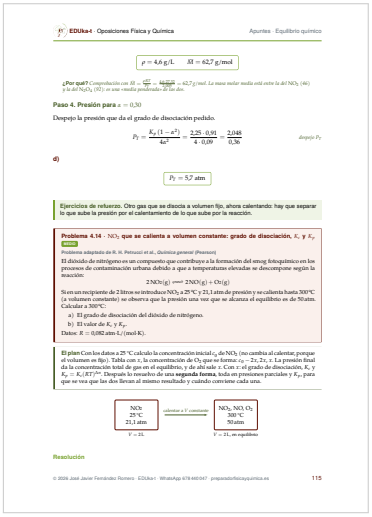
En esta muestra

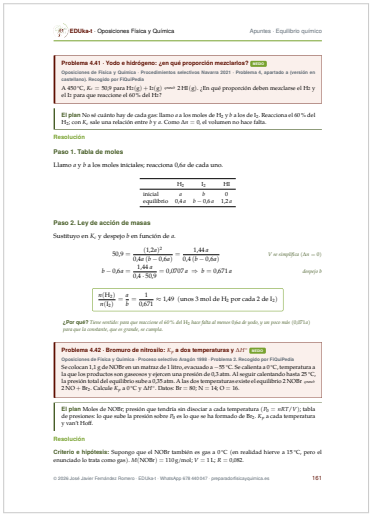
Guía general: dos maneras de resolver un problema de equilibrio 60

Problema 4.14 · Disociación del NO_2 resuelta con concentraciones y con presiones 61

Problemas 4.41 y 4.42 · Navarra 2021 y Aragón 1998 65







Guía general: cómo afrontar cualquier problema de equilibrio

Esta guía es un **mapa** del libro. No es un tema más: no hay teoría nueva, sino una forma de ordenar lo que viene después. Sirve para dos cosas: saber *qué tipo de problema tengo delante* y entender que todos los procedimientos de los temas (la tabla, la reacción global, «2s es todo el flúor disuelto», el limitante a cero…) son **maneras distintas de escribir las mismas ecuaciones**. Léela al empezar y vuelve a ella cuando un problema mezcle varios equilibrios y no sepas por dónde cogerlo.

Las dos maneras de resolver, y por qué son la misma

(A) La manera de clase: reacción, tabla y aproximación

Es la que usamos en clase y la que verás en casi todas las resoluciones del libro.

1. **Escribir la reacción** que ocurre. Si en el vaso pasan varias cosas a la vez (el sólido se disuelve *y* el amoniaco atrapa al catión), se suman las reacciones para obtener la **reacción global**, y sus constantes se multiplican, se dividen o se elevan (herramienta «Sumar reacciones: qué les pasa a las constantes», H17).
2. **Hacer la tabla** inicial–cambio–equilibrio (H3) con un solo avance, x o s.
3. **Sustituir en K y aproximar**: si K es pequeña, el cambio es pequeño (H6); si es grande, el limitante a cero (H13). Resolver y comprobar.

(B) La manera común: especies, constantes y balances

Es el método sistemático de la sección 7.1 («Cómo plantear cualquier equilibrio en disolución: balance de masas y balance de cargas») y de la herramienta «Balance de masa (y balance de carga)» (H15). Vale **para todo**, se haga lo que se haga en el vaso.

1. **Lista de especies** cuya concentración no conozco (cada una es una incógnita).
2. **Una constante por cada equilibrio**: K_s, K_a, K_b, β_n, K_w, K_D…, todas a la vez, con las mismas concentraciones.
3. **Balances de masa**: lo que he echado de cada elemento = la suma de *todas* sus formas. Y, si faltan ecuaciones, el **balance de carga** (o el de protones, que sale de combinarlo con los de masa).
4. **Aproximar lo pequeño**: tachar en los balances (nunca en las constantes) las especies que son trazas.
5. **Resolver** (H2, H7).
6. **Comprobar** cada aproximación con los valores finales ($< 5\,\%$).

No son dos métodos: son el mismo, uno escrito de forma abreviada. La manera de clase es correcta, rápida y la que conviene usar en el examen *cuando sus hipótesis se cumplen*. La manera común es la que explica por qué funciona y la que hay que usar cuando no se cumplen. Lo que las une son dos ideas:

- **La tabla es un balance de masas escrito en filas.** En la tabla del CaF_2, escribir «s» y «2s» es decir «el calcio disuelto es s y el flúor disuelto es 2s». En la del ácido débil, $(C_0 - x) + x = C_0$ es el balance de masa de A. La tabla lleva los balances «dentro» a través del avance de *una* reacción (sección 7.1, apartado «La tabla del profesor es un balance de masas»).
- **La reacción global es lo que queda al sustituir las constantes en los balances cuando cada elemento está casi todo en una sola especie a cada lado.** Al sumar reacciones se simplifican las especies intermedias (el Ag^+ en el AgCl con amoniaco, el F^- en el CaF_2 con

$$\rho = 4{,}6\ \text{g/L} \qquad \bar{M} = 62{,}7\ \text{g/mol}$$

¿Por qué? *Comprobación con* $\bar{M} = \frac{\rho RT}{P_T} = \frac{4{,}6 \cdot 27{,}32}{2{,}005} = 62{,}7\ g/mol$. *La masa molar media está entre la del* NO_2 *(46) y la del* N_2O_4 *(92): es una «media ponderada» de las dos.*

Paso 4. Presión para $\alpha = 0{,}30$

Despejo la presión que da el grado de disociación pedido.

$$P_T = \frac{K_p\,(1-\alpha^2)}{4\alpha^2} = \frac{2{,}25 \cdot 0{,}91}{4 \cdot 0{,}09} = \frac{2{,}048}{0{,}36} \qquad \textit{despejo } P_T$$

d)

$$P_T = 5{,}7\ \text{atm}$$

Ejercicios de refuerzo. Otro gas que se disocia a volumen fijo, ahora calentando: hay que separar lo que sube la presión por el calentamiento de lo que sube por la reacción.

Problema 4.14 · NO_2 que se calienta a volumen constante: grado de disociación, K_c y K_p

MEDIO

Problema adaptado de R. H. Petrucci et al., *Química general* (Pearson)

El dióxido de nitrógeno es un compuesto que contribuye a la formación del smog fotoquímico en los procesos de contaminación urbana debido a que a temperaturas elevadas se descompone según la reacción:

$$2\,NO_2(g) \rightleftharpoons 2\,NO(g) + O_2(g)$$

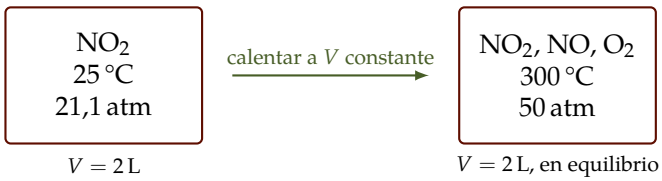
Si en un recipiente de 2 litros se introduce NO_2 a 25 ºC y 21,1 atm de presión y se calienta hasta 300 ºC (a volumen constante) se observa que la presión una vez que se alcanza el equilibrio es de 50 atm. Calcular a 300 ºC:

a) El grado de disociación del dióxido de nitrógeno.

b) El valor de K_c y K_p.

Datos: $R = 0{,}082\ \text{atm·L/(mol·K)}$.

El plan Con los datos a 25 °C calculo la concentración inicial c_0 de NO_2 (no cambia al calentar, porque el volumen es fijo). Tabla con x, la concentración de O_2 que se forma: $c_0 - 2x$, $2x$, x. La presión final da la concentración total de gas en el equilibrio, y de ahí sale x. Con x: el grado de disociación, K_c y $K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$. Después lo resuelvo de una **segunda forma**, toda en presiones parciales y K_p, para que se vea que las dos llevan al mismo resultado y cuándo conviene cada una.



$V = 2\,L$ $\qquad$ $V = 2\,L$, en equilibrio

Resolución

Criterio e hipótesis: $T_0 = 25 + 273 = 298\,\text{K}$; $T = 300 + 273 = 573\,\text{K}$; $RT = 0{,}082 \cdot 573 = 46{,}99\,\text{atm·L/mol}$. Gases ideales.

Paso 1. Concentración inicial de NO_2

Con la presión inicial calculo la concentración inicial.

$$c_0 = \frac{n}{V} = \frac{P_0}{RT_0} = \frac{21{,}1}{0{,}082 \cdot 298} = \frac{21{,}1}{24{,}44} \qquad \textit{gases ideales}$$

$$c_0 = 0{,}8635\ \text{M} \qquad \textit{divido}$$

> **¿Por qué?** *Al calentar a volumen constante no cambia la cantidad de NO_2, así que su concentración inicial es la misma a 25 °C y a 300 °C; lo que cambia es la presión.*

Paso 2. Tabla (concentraciones en mol/L)

Tabla de concentraciones: se disocian $2x$ de NO_2.

	$2\,NO_2$	$2\,NO$	O_2
inicial	c_0	0	0
cambio	$-2x$	$+2x$	$+x$
equilibrio	$c_0 - 2x$	$2x$	x

Concentración total de gas: $c_T = (c_0 - 2x) + 2x + x = c_0 + x$.

> **¿Por qué?** *Por cada mol de O_2 que se forma desaparecen 2 de gas y aparecen 3: el total aumenta en x, y por eso sube la presión.*

Paso 3. Concentración total en el equilibrio y x

La presión de equilibrio da la concentración total; igualo con la tabla.

$$c_T = \frac{P_{\text{eq}}}{RT} = \frac{50}{46{,}99} = 1{,}0641\ \text{M} \qquad \textit{gases ideales en el equilibrio}$$

$$c_0 + x = 1{,}0641 \ \Rightarrow\ x = 1{,}0641 - 0{,}8635 = 0{,}2007\ \text{M} \qquad \textit{igualo con la tabla}$$

Paso 4. Grado de disociación

Grado de disociación: lo disociado entre lo inicial.

$$\alpha = \frac{\text{concentración disociada}}{\text{concentración inicial}} = \frac{2x}{c_0} = \frac{0{,}4013}{0{,}8635} \qquad \textit{definición}$$

$$\alpha = 0{,}465 \qquad \textit{divido}$$

a)

$$\boxed{\alpha = 0{,}465\ (46{,}5\ \%)}$$

> **△ Error típico**
> Poner $\alpha = x/c_0$: el NO_2 que se disocia es $2x$; x es lo que se forma de O_2. Con x/c_0 saldría la mitad, un 23 %.

Paso 5. Concentraciones en el equilibrio y K_c

Concentraciones en el equilibrio y K_c.

$$[NO_2] = c_0 - 2x = 0{,}4622\ \text{M}; \quad [NO] = 2x = 0{,}4013\ \text{M}; \quad [O_2] = x = 0{,}2007\ \text{M} \qquad \textit{tabla}$$

$$K_c = \frac{[NO]^2[O_2]}{[NO_2]^2} = \frac{0{,}4013^2 \cdot 0{,}2007}{0{,}4622^2} = \frac{0{,}03232}{0{,}2136} \qquad \textit{ley de acción de masas}$$

$$K_c = 0{,}151\ \text{M} \qquad \textit{divido}$$

Paso 6. K_p

Paso a K_p con $\Delta n = 1$.

$$\Delta n = (2+1) - 2 = 1 \qquad \textit{moles de gas: productos menos reactivos}$$

$$K_p = K_c\,(RT)^{\Delta n} = 0{,}151 \cdot 46{,}99 = 7{,}1\ \text{atm} \qquad \textit{relación entre } K_p \textit{ y } K_c$$

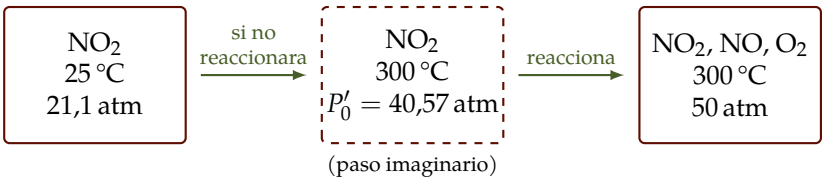
b)

$$K_c \approx 0{,}15\ \text{M} \qquad K_p \approx 7{,}1\ \text{atm}$$

¿Por qué? *Comprobación:* $0{,}4622 + 0{,}4013 + 0{,}2007 = 1{,}0642\,M$, *que es la* c_T *del paso 3; y* $c_T\,RT = 1{,}0642 \cdot 46{,}99 = 50\,atm$, *la presión del enunciado.*

Paso 7. Segunda forma de resolverlo: con presiones parciales y K_p

Ahora trabajo todo en presiones. La idea es separar lo que hace subir la presión en dos partes: primero el **calentamiento** (el gas, sin reaccionar, pasaría de 25 a 300 °C) y después la **reacción** (a 300 °C, el NO_2 se disocia y aumenta el número de moles de gas).



Paso A. Presión del NO_2 a 300 °C sin disociarse. Con los mismos moles y el mismo volumen, la presión es proporcional a la temperatura absoluta:

$$\frac{P_0'}{T} = \frac{P_0}{T_0} \qquad \textit{ley de Gay-Lussac } (n \text{ y } V \textit{ constantes})$$

$$P_0' = P_0\,\frac{T}{T_0} = 21{,}1 \cdot \frac{573}{298} \qquad \textit{despejo y sustituyo}$$

$$P_0' = 40{,}57\ \text{atm} \qquad \textit{calculadora}$$

¿Por qué? *En las tablas de presiones, la «presión inicial» tiene que estar a la misma temperatura que el equilibrio. Los 21,1 atm son a 25 °C; a 300 °C el mismo gas, sin reaccionar, ejercería 40,57 atm.*

Paso B. Tabla en presiones. A volumen y temperatura constantes, la presión parcial de cada gas es proporcional a sus moles ($P_i = n_i RT/V$), así que la tabla se puede hacer directamente en presiones. Llamo p a la presión parcial del O_2 que se forma:

	$2\,NO_2$	$2\,NO$	O_2
inicial (300 °C)	P'_0	0	0
cambio	$-2p$	$+2p$	$+p$
equilibrio	$P'_0 - 2p$	$2p$	p

Paso C. Ley de Dalton: de la presión total a p.

$$P_{eq} = P_{NO_2} + P_{NO} + P_{O_2} \qquad \textit{ley de Dalton}$$
$$50 = (P'_0 - 2p) + 2p + p = P'_0 + p \qquad \textit{sumo y simplifico}$$
$$p = 50 - 40{,}57 = 9{,}43\ \text{atm} \qquad \textit{despejo}$$

$$P_{NO_2} = 40{,}57 - 2\cdot 9{,}43 = 21{,}71\ \text{atm};\quad P_{NO} = 2\cdot 9{,}43 = 18{,}86\ \text{atm};\quad P_{O_2} = 9{,}43\ \text{atm} \qquad \textit{tabla}$$

Paso D. a) Grado de disociación. Como la presión es proporcional a los moles, puedo calcular α con presiones:

$$\alpha = \frac{\text{presión de } NO_2 \text{ disociada}}{\text{presión inicial de } NO_2} = \frac{2p}{P'_0} \qquad \textit{definición (presión} \propto \textit{moles)}$$
$$\alpha = \frac{2\cdot 9{,}43}{40{,}57} = \frac{18{,}86}{40{,}57} = 0{,}465 \qquad \textit{sustituyo y divido}$$

△ Error típico

Hacer la tabla con 21,1 atm como presión inicial. Esa presión es a 25 °C; si se usa, el aumento hasta 50 atm mezcla el efecto del calentamiento con el de la reacción y sale un resultado imposible: $p = 50 - 21{,}1 = 28{,}9$ atm y $P_{NO_2} = 21{,}1 - 2\cdot 28{,}9 < 0$.

Paso E. b) K_p y K_c.

$$K_p = \frac{P_{NO}^2\, P_{O_2}}{P_{NO_2}^2} \qquad \textit{ley de acción de masas en presiones}$$
$$K_p = \frac{18{,}86^2\cdot 9{,}43}{21{,}71^2} = \frac{3354}{471{,}3} = 7{,}1\ \text{atm} \qquad \textit{sustituyo y divido}$$
$$K_c = \frac{K_p}{(RT)^{\Delta n}} = \frac{7{,}11}{0{,}082\cdot 573} = \frac{7{,}11}{46{,}99} = 0{,}151\ \text{M} \qquad \textit{despejo de } K_p = K_c(RT)^{\Delta n},\ \Delta n = 1$$

Salen los mismos valores que con concentraciones.

Cómo lo pienso

¿Cuándo conviene cada forma? La de presiones no necesita ni el volumen ni R hasta el último paso: es la más rápida cuando los datos son presiones y lo que se pide es K_p. La de concentraciones (con $c_0 - 2x$) es la natural cuando piden K_c o concentraciones. Las dos dan lo mismo, porque cada presión parcial es su concentración multiplicada por RT: $P_i = [i]\,RT$.

Sobre el redondeo PARA PROFUNDIZAR

Con $T = 298{,}15$ y 573,15 K sale $K_c = 0{,}152$ M y $K_p = 7{,}15$ atm; con 298 y 573 K, 0,151 M y 7,11 atm. Los datos permiten dos cifras significativas: $K_c \approx 0{,}15$ M y $K_p \approx 7{,}1$ atm.

Problema 4.41 · Yodo e hidrógeno: ¿en qué proporción mezclarlos? MEDIO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos Navarra 2021 · Problema 4, apartado a (versión en castellano). Recogido por FiQuiPedia

A 450 °C, $K_c = 50{,}9$ para $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2\,HI(g)$. ¿En qué proporción deben mezclarse el H_2 y el I_2 para que reaccione el 60 % del H_2?

El plan No sé cuánto hay de cada gas: llamo a a los moles de H_2 y b a los de I_2. Reacciona el 60 % del H_2; con K_c sale una relación entre b y a. Como $\Delta n = 0$, el volumen no hace falta.

Resolución

Paso 1. Tabla de moles

Llamo a y b a los moles iniciales; reacciona $0{,}6a$ de cada uno.

	H_2	I_2	HI
inicial	a	b	0
equilibrio	$0{,}4\,a$	$b - 0{,}6\,a$	$1{,}2\,a$

Paso 2. Ley de acción de masas

Sustituyo en K_c y despejo b en función de a.

$$50{,}9 = \frac{(1{,}2a)^2}{0{,}4a\,(b - 0{,}6a)} = \frac{1{,}44\,a}{0{,}4\,(b - 0{,}6a)} \qquad V \text{ se simplifica } (\Delta n = 0)$$

$$b - 0{,}6a = \frac{1{,}44\,a}{0{,}4 \cdot 50{,}9} = 0{,}0707\,a \;\Rightarrow\; b = 0{,}671\,a \qquad \text{despejo } b$$

$$\frac{n(H_2)}{n(I_2)} = \frac{a}{b} = \frac{1}{0{,}671} \approx 1{,}49 \quad (\text{unos 3 mol de } H_2 \text{ por cada 2 de } I_2)$$

¿Por qué? *Tiene sentido: para que reaccione el 60 % del H_2 hace falta al menos $0{,}6a$ de yodo, y un poco más $(0{,}071a)$ para que la constante, que es grande, se cumpla.*

Problema 4.42 · Bromuro de nitrosilo: K_p a dos temperaturas y ΔH° MEDIO

Oposiciones de Física y Química · Proceso selectivo Aragón 1998 · Problema 2. Recogido por FiQuiPedia

Se colocan 1,1 g de NOBr en un matraz de 1 litro, evacuado a −55 °C. Se calienta a 0 °C, temperatura a la que los productos son gaseosos y ejercen una presión de 0,3 atm. Al seguir calentando hasta 25 °C, la presión total del equilibrio sube a 0,35 atm. A las dos temperaturas existe el equilibrio $2\,NOBr \rightleftharpoons 2\,NO + Br_2$. Calcule K_p a 0 °C y ΔH°. Datos: Br = 80; N = 14; O = 16.

El plan Moles de NOBr; presión que tendría sin disociar a cada temperatura ($P_0 = nRT/V$); tabla de presiones: lo que sube la presión sobre P_0 es lo que se ha formado de Br_2. K_p a cada temperatura y van't Hoff.

Resolución

Criterio e hipótesis: Supongo que el NOBr también es gas a 0 °C (en realidad hierve a 15 °C, pero el enunciado lo trata como gas). $M(NOBr) = 110$ g/mol; $V = 1$ L; $R = 0{,}082$.

Paso 1. Presión inicial a cada temperatura

Calculo los moles de NOBr y la presión que tendrían sin disociarse a cada temperatura.

$$n = \frac{1{,}1}{110} = 0{,}0100 \text{ mol} \qquad \textit{masa molar}$$

$$P_0(0\text{ C}) = 0{,}0100 \cdot 0{,}082 \cdot 273{,}15 = 0{,}224 \text{ atm}; \quad P_0(25\text{ C}) = 0{,}0100 \cdot 0{,}082 \cdot 298{,}15 = 0{,}2445 \text{ atm}$$

si no se disociara

Paso 2. Tabla de presiones

Si se forma una presión y de Br_2: NOBr, $P_0 - 2y$; NO, $2y$; Br_2, y. Total: $P_0 + y$.

$$0\text{ C}: \quad y = 0{,}300 - 0{,}224 = 0{,}076; \quad P_{NOBr} = 0{,}072;\ P_{NO} = 0{,}152;\ P_{Br_2} = 0{,}076 \text{ atm}$$

lo que sube la presión

$$25\text{ C}: \quad y = 0{,}350 - 0{,}2445 = 0{,}1055; \quad P_{NOBr} = 0{,}0334;\ P_{NO} = 0{,}211;\ P_{Br_2} = 0{,}1055 \text{ atm} \qquad \textit{ídem}$$

Paso 3. Constantes

Sustituyo las presiones en K_p a cada temperatura.

$$K_p(0\text{ C}) = \frac{P_{NO}^2 P_{Br_2}}{P_{NOBr}^2} = \frac{0{,}152^2 \cdot 0{,}076}{0{,}072^2} = 0{,}34 \text{ atm} \qquad \Delta n = 1\text{: atm}$$

$$K_p(25\text{ C}) = \frac{0{,}211^2 \cdot 0{,}1055}{0{,}0334^2} = 4{,}2 \text{ atm} \qquad \textit{ídem a 25 °C}$$

Paso 4. Entalpía (van't Hoff)

Van't Hoff con las dos constantes.

$$\ln\frac{4{,}2}{0{,}34} = 2{,}51 = \frac{\Delta H^\circ}{8{,}314}\left(\frac{1}{273{,}15} - \frac{1}{298{,}15}\right) = \frac{\Delta H^\circ}{8{,}314} \cdot 3{,}07 \cdot 10^{-4} \qquad (H8)$$

$$K_p(0\text{ C}) \approx 0{,}34 \text{ atm} \qquad \Delta H^\circ \approx +68 \text{ kJ (por 2 mol de NOBr)}$$

¿Por qué? *La constante se multiplica por 12 en solo 25 °C: la disociación es muy endotérmica. Ojo: los resultados son muy sensibles a los datos, porque P_{NOBr} es una diferencia pequeña entre números parecidos.*

09

Química orgánica desde cero

Para aprender orgánica partiendo de cero

Tiene un tema 0 de química básica y 15 temas, desde las fórmulas hasta los problemas de identificación y de síntesis. Hay una guía general, una hoja de ruta en cada tema y una figura en todos los ejercicios: la molécula, el esquema de la reacción o el mecanismo.

16 temas **257 ejercicios** **Oposición desde el tema 9**

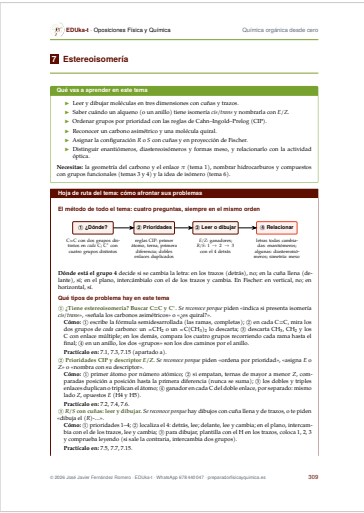
En esta muestra

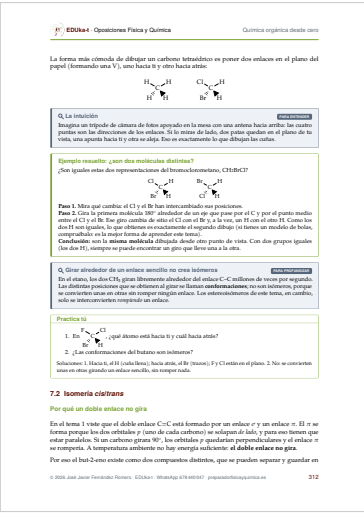
Apertura del tema 7 (estereoisomería): objetivos y hoja de ruta — 68

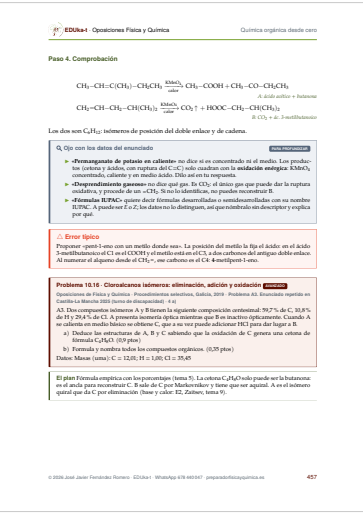
Teoría: moléculas en tres dimensiones e isomería cis/trans — 70

Problema 10.15 · Dos alquenos por sus productos de oxidación (Melilla 2018) — 72

Problema 10.16 · Cloroalcanos isómeros (Galicia 2019), con «Otra forma de plantearlo» — 73







7 Estereoisomería

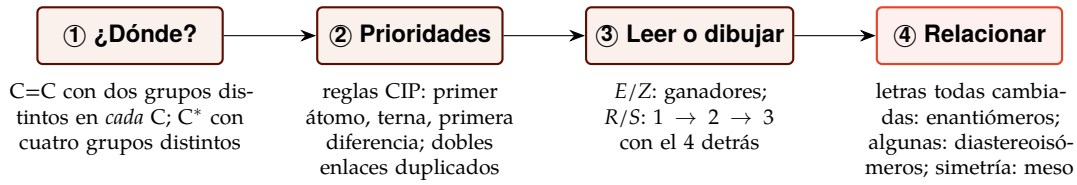
Qué vas a aprender en este tema

- Leer y dibujar moléculas en tres dimensiones con cuñas y trazos.
- Saber cuándo un alqueno (o un anillo) tiene isomería *cis*/*trans* y nombrarla con *E*/*Z*.
- Ordenar grupos por prioridad con las reglas de Cahn–Ingold–Prelog (CIP).
- Reconocer un carbono asimétrico y una molécula quiral.
- Asignar la configuración *R* o *S* con cuñas y en proyección de Fischer.
- Distinguir enantiómeros, diastereoisómeros y formas meso, y relacionarlo con la actividad óptica.

Necesitas: la geometría del carbono y el enlace π (tema 1), nombrar hidrocarburos y compuestos con grupos funcionales (temas 3 y 4) y la idea de isómero (tema 6).

Hoja de ruta del tema: cómo afrontar sus problemas

El método de todo el tema: cuatro preguntas, siempre en el mismo orden



Dónde está el grupo 4 decide si se cambia la letra: en los trazos (detrás), no; en la cuña llena (delante), sí; en el plano, intercámbialo con el de los trazos y cambia. En Fischer: en vertical, no; en horizontal, sí.

Qué tipos de problema hay en este tema

① **¿Tiene estereoisomería? Buscar C=C y C*.** *Se reconoce porque* piden «indica si presenta isomería *cis*/*trans*», «señala los carbonos asimétricos» o «¿es quiral?».

Cómo: ① escribe la fórmula semidesarrollada (las ramas, completas); ② en cada C=C, mira los dos grupos de *cada* carbono: un $=CH_2$ o un $=C(CH_3)_2$ lo descarta; ③ descarta CH_3, CH_2 y los C con enlace múltiple; en los demás, compara los cuatro grupos recorriendo cada rama hasta el final; ④ en un anillo, los dos «grupos» son los dos caminos por el anillo.

Practícalo en: 7.1, 7.3, 7.15 (apartado a).

② **Prioridades CIP y descriptor *E*/*Z*.** *Se reconoce porque* piden «ordena por prioridad», «asigna *E* o *Z*» o «nombra con su descriptor».

Cómo: ① primer átomo por número atómico; ② si empatan, ternas de mayor a menor *Z*, comparadas posición a posición hasta la primera diferencia (nunca se suma); ③ los dobles y triples enlaces duplican o triplican el átomo; ④ ganador en cada C del doble enlace, por separado: mismo lado *Z*, opuestos *E* (H4 y H5).

Practícalo en: 7.2, 7.4, 7.6.

③ ***R*/*S* con cuñas: leer y dibujar.** *Se reconoce porque* hay dibujos con cuña llena y de trazos, o te piden «dibuja el (*R*)-...».

Cómo: ① prioridades 1–4; ② localiza el 4: detrás, lee; delante, lee y cambia; en el plano, intercambia con el de los trazos, lee y cambia; ③ para dibujar, plantilla con el H en los trazos, coloca 1, 2, 3 y comprueba leyendo (si sale la contraria, intercambia dos grupos).

Practícalo en: 7.5, 7.7, 7.15.

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es

④ **Proyecciones de Fischer.** *Se reconoce porque* aparece una cruz, o piden comparar varias representaciones.

Cómo: ① horizontal hacia ti, vertical hacia atrás; ② recorre $1 \to 2 \to 3$ como las horas del reloj; H horizontal, cambia la letra; ③ para comparar: giro de 180° o dos intercambios, misma molécula; un intercambio o giro de 90°, enantiómero (comprueba siempre con las letras).

Practícalo en: 7.8, 7.9.

⑤ **Varios elementos: contar, relacionar, meso.** *Se reconoce porque* piden «cuántos estereoisómeros», «dibuja todos», «qué relación hay», «¿hay forma meso?».

Cómo: ① cuenta C=C estereogénicos y C*: máximo 2^n; ② dibuja todos en Fischer (cadena vertical) y asigna cada centro; ③ todas las letras cambiadas, enantiómeros; algunas, diastereoisómeros; ④ si los dos extremos de la molécula son iguales, busca el plano de simetría: (R,S) es meso y hay uno menos.

Practícalo en: 7.10, 7.13, 7.12, 7.14.

⑥ **Actividad óptica.** *Se reconoce porque* dan ángulos de giro, masas, volúmenes y longitudes de tubo, o la composición de una mezcla.

Cómo: ① c en g/mL y l en dm; ② $[\alpha] = \alpha/(l\,c)$; ③ enantiómero: mismo valor y signo contrario; racémico y meso: 0; ④ $ee = [\alpha]_{\text{mezcla}}/[\alpha]_{\text{puro}} \cdot 100$ y $\%_{\text{mayor}} = (100 + ee)/2$ (H5).

Practícalo en: 7.11, 7.15 (apartado d).

Antes de empezar, comprueba que sabes

- El carbono tetraédrico y el C=C plano: tema 0, apartado «La forma de las moléculas: geometría y RPECV», y tema 1 (hibridación y por qué no gira el enlace π).
- Los números atómicos de H, C, N, O, F, S, Cl, Br e I, que deciden las prioridades: tema 0, apartado «El átomo y la configuración electrónica».
- Nombrar hidrocarburos y compuestos con grupos funcionales (temas 3 y 4) y la idea de isómero (tema 6).
- Concentraciones en g/mL y cambios de unidades (cm a dm): tema 0, apartados «Gases y disoluciones: lo imprescindible» y «Cifras significativas, unidades y redondeo».
- Herramientas H4 (reglas CIP) y H5 (asignar R/S y E/Z; actividad óptica).

Los errores que más se repiten

- Ver isomería *cis*/*trans* donde un carbono del C=C lleva dos grupos iguales (but-1-eno, 2-metilbut-2-eno).
- Sumar los números atómicos de la terna o contar átomos: solo cuenta la primera diferencia.
- Traducir *cis* = Z sin mirar las prioridades (el 2-bromobut-2-eno con los CH_3 en lados opuestos es Z).
- Olvidar cambiar la letra con el H delante o en horizontal en Fischer; cambiarla cuando el H está en vertical; o girar una Fischer 90° creyendo que es la misma molécula.
- Contar 2^n sin comprobar la simetría (2,3-dibromobutano, ácido tartárico: tres, no cuatro).
- Confundir meso (un compuesto aquiral) con racémico (mezcla de dos enantiómeros), o deducir el signo $(+)/(-)$ de la letra R/S.
- Usar el tubo en cm o la concentración en g/L en $[\alpha] = \alpha/(l\,c)$.

Cómo comprobar tu resultado

- **Otra lectura**: asigna la letra con la regla del 4 y, después, con el truco del intercambio; deben coincidir.
- **Redibuja desde el nombre**: si nombras (S)-..., dibuja a partir del nombre y comprueba que sale tu dibujo (o uno girado).
- **Enantiómeros y meso**: en dos enantiómeros cambian todas las letras; un meso necesita dos centros equivalentes con letras distintas y un plano de simetría.

- **Actividad óptica**: *ee* entre 0 y 100 %; los porcentajes suman 100; el signo de la mezcla es el del enantiómero mayoritario.

Itinerario recomendado

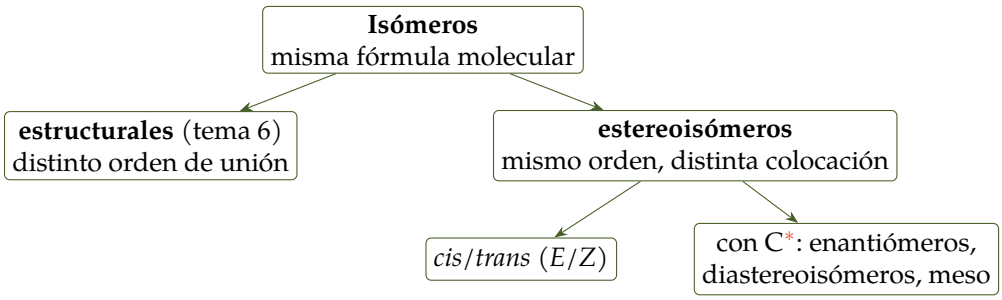
Primera vuelta (imprescindibles): 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.8, 7.10.
Segunda vuelta: 7.6, 7.7, 7.9, 7.11, 7.12, 7.13, 7.14, 7.15.
Si vas justo de tiempo: 7.4, 7.5, 7.8, 7.12 y 7.11 cubren todo lo esencial del tema.
Al terminar, repasa el recuadro «¿Lo tienes claro?» del final del tema.

Ideas clave del tema

- Los **estereoisómeros** tienen los mismos átomos unidos en el mismo orden; solo cambia cómo están colocados en el espacio.
- Un doble enlace C=C no puede girar. Si *cada* carbono del doble enlace lleva dos grupos distintos, hay dos isómeros: *cis*/*trans*, que se nombran con *Z*/*E*.
- Las **reglas CIP** ordenan los grupos por número atómico, átomo a átomo, hasta la primera diferencia. Sirven para *E*/*Z* y para *R*/*S*.
- Una molécula es **quiral** si no se puede superponer con su imagen en un espejo, como la mano derecha y la izquierda. Casi siempre se debe a un **carbono asimétrico** (C*): un C con cuatro grupos distintos.
- Con el grupo 4 hacia atrás, si 1 → 2 → 3 gira como las agujas del reloj, el centro es *R*; si gira al revés, *S*. Si el 4 está hacia delante, se lee y se cambia la letra.
- Imagen especular no superponible: **enantiómeros**. Estereoisómeros que no son imagen especular: **diastereoisómeros**. Con C* pero con un plano de simetría: forma **meso** (aquiral).
- Los enantiómeros giran el plano de la luz polarizada el mismo ángulo en sentidos opuestos; una mezcla racémica, un compuesto meso o uno aquiral no lo giran.

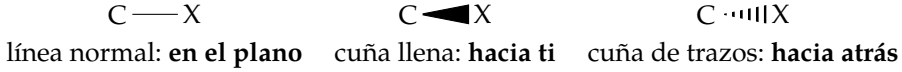
7.1 Moléculas en tres dimensiones

En el tema 6 viste isómeros que se diferencian en *qué está unido a qué*: son los isómeros estructurales. En este tema los átomos están unidos *exactamente igual*, y lo único que cambia es su colocación en el espacio. Son los **estereoisómeros** (del griego *stereós*, «sólido, en tres dimensiones»).



Cuñas y trazos

El papel es plano, pero un carbono sp^3 es un tetraedro (tema 1). Para dibujarlo se usa un código de tres tipos de enlace:



La forma más cómoda de dibujar un carbono tetraédrico es poner dos enlaces en el plano del papel (formando una V), uno hacia ti y otro hacia atrás:



La intuición PARA ENTENDER

Imagina un trípode de cámara de fotos apoyado en la mesa con una antena hacia arriba: las cuatro puntas son las direcciones de los enlaces. Si lo miras de lado, dos patas quedan en el plano de tu vista, una apunta hacia ti y otra se aleja. Eso es exactamente lo que dibujan las cuñas.

Ejemplo resuelto: ¿son dos moléculas distintas?

¿Son iguales estas dos representaciones del bromoclorometano, CH_2BrCl?

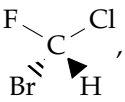


Paso 1. Mira qué cambia: el Cl y el Br han intercambiado sus posiciones.
Paso 2. Gira la primera molécula 180° alrededor de un eje que pase por el C y por el punto medio entre el Cl y el Br. Ese giro cambia de sitio el Cl con el Br y, a la vez, un H con el otro H. Como los dos H son iguales, lo que obtienes es exactamente el segundo dibujo (si tienes un modelo de bolas, compruébalo: es la mejor forma de aprender este tema).
Conclusión: son la **misma molécula** dibujada desde otro punto de vista. Con dos grupos iguales (los dos H), siempre se puede encontrar un giro que lleve una a la otra.

Girar alrededor de un enlace sencillo no crea isómeros PARA PROFUNDIZAR

En el etano, los dos CH_3 giran libremente alrededor del enlace C–C millones de veces por segundo. Las distintas posiciones que se obtienen al girar se llaman **conformaciones**; no son isómeros, porque se convierten unas en otras sin romper ningún enlace. Los estereoisómeros de este tema, en cambio, solo se interconvierten *rompiendo* un enlace.

Practica tú

1. En 

, ¿qué átomo está hacia ti y cuál hacia atrás?
2. ¿Las conformaciones del butano son isómeros?

Soluciones: 1. Hacia ti, el H (cuña llena); hacia atrás, el Br (trazos); F y Cl están en el plano. 2. No: se convierten unas en otras girando un enlace sencillo, sin romper nada.

7.2 Isomería *cis*/*trans*

Por qué un doble enlace no gira

En el tema 1 viste que el doble enlace C=C está formado por un enlace σ y un enlace π. El π se forma porque los dos orbitales p (uno de cada carbono) se solapan *de lado*, y para eso tienen que estar paralelos. Si un carbono girara 90°, los orbitales p quedarían perpendiculares y el enlace π se rompería. A temperatura ambiente no hay energía suficiente: **el doble enlace no gira**.

Por eso el but-2-eno existe como dos compuestos distintos, que se pueden separar y guardar en

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es

Ejercicios de refuerzo. Primer contacto con la oposición

Problema 10.15 · Dos alquenos C_6H_{12} por sus productos de oxidación MEDIO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos, Melilla, 2018 · Problema 5, apartado b

5.b) A y B son dos hidrocarburos isoméricos de C_6H_{12}. Si se oxidan con permanganato de potasio en caliente se comprueba que el primero origina butanona y ácido acético y el segundo da lugar a ácido 3-metilbutanoico a la vez que se produce desprendimiento gaseoso. Halle las fórmulas IUPAC de A y B y nombre dichos compuestos.

El plan C_6H_{12} tiene una insaturación; como la oxidación rompe la molécula, es un C=C. Para cada alqueno: marco el carbono carbonílico de cada producto, quito los =O y pego (H8). El gas es CO_2: viene de un $=CH_2$.

Resolución

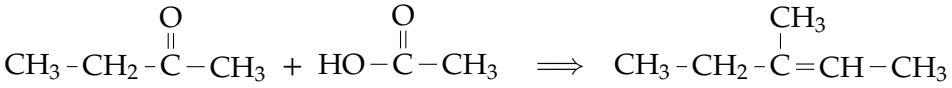
Paso 1. Insaturaciones

$$\text{insaturaciones} = \frac{2\cdot 6 + 2 - 12}{2} = 1 \qquad \textit{fórmula con } C = 6,\ H = 12$$

Un anillo no se rompería con el permanganato: es un doble enlace C=C. «Permanganato en caliente» = oxidación enérgica, con ruptura.

Paso 2. Hidrocarburo A: butanona + ácido acético

Carbonos: $4 + 2 = 6$. Cuadra. El C del C=O de la butanona era un $=C(CH_3)(CH_2CH_3)$ (sin H: cetona); el C del COOH del ácido acético era un $=CH-CH_3$ (con un H: ácido).

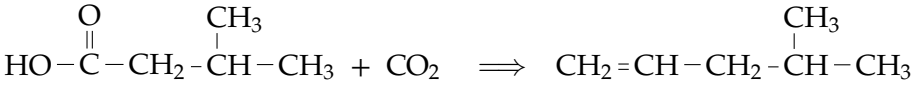


A: $CH_3-CH=C(CH_3)-CH_2-CH_3$ 3-metilpent-2-eno

¿Por qué? *Se numera desde el extremo más próximo al doble enlace: C2=C3, con el metilo en C3. Tiene isómeros E y Z; los dos dan los mismos productos, así que el dato no permite distinguirlos.*

Paso 3. Hidrocarburo B: ácido 3-metilbutanoico + gas

El ácido tiene 5 C; falta 1, que se va como gas: CO_2, procedente de un $=CH_2$. El C del COOH era un $=CH-$:



B: $CH_2=CH-CH_2-CH(CH_3)-CH_3$ 4-metilpent-1-eno

Paso 4. Comprobación

$$CH_3{-}CH{=}C(CH_3){-}CH_2CH_3 \xrightarrow[\text{calor}]{KMnO_4} CH_3{-}COOH + CH_3{-}CO{-}CH_2CH_3$$

A: ácido acético + butanona

$$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH(CH_3)_2 \xrightarrow[\text{calor}]{KMnO_4} CO_2\uparrow + HOOC{-}CH_2{-}CH(CH_3)_2$$

B: CO_2 + ác. 3-metilbutanoico

Los dos son C_6H_{12}: isómeros de posición del doble enlace y de cadena.

Ojo con los datos del enunciado PARA PROFUNDIZAR

- **«Permanganato de potasio en caliente»** no dice si es concentrado ni el medio. Los productos (cetona y ácidos, con ruptura del C=C) solo cuadran con la **oxidación enérgica**: $KMnO_4$ concentrado, caliente y en medio ácido. Dilo así en tu respuesta.
- **«Desprendimiento gaseoso»** no dice qué gas. Es CO_2: el único gas que puede dar la ruptura oxidativa, y procede de un $=CH_2$. Si no lo identificas, no puedes reconstruir B.
- **«Fórmulas IUPAC»** quiere decir fórmulas desarrolladas o semidesarrolladas con su nombre IUPAC. A puede ser *E* o *Z*; los datos no lo distinguen, así que nómbralo sin descriptor y explica por qué.

△ Error típico

Proponer «pent-1-eno con un metilo donde sea». La posición del metilo la fija el ácido: en el ácido 3-metilbutanoico el C1 es el COOH y el metilo está en el C3, a dos carbonos del antiguo doble enlace. Al numerar el alqueno desde el $CH_2=$, ese carbono es el C4: **4**-metilpent-1-eno.

Problema 10.16 · Cloroalcanos isómeros: eliminación, adición y oxidación AVANZADO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos, Galicia, 2019 · Problema A3. Enunciado repetido en Castilla-La Mancha 2025 (turno de discapacidad) · 4 a)

A3. Dos compuestos isómeros A y B tienen la siguiente composición centesimal: 59,7 % de C, 10,8 % de H y 29,4 % de Cl. A presenta isomería óptica mientras que B es inactivo ópticamente. Cuando A se calienta en medio básico se obtiene C, que a su vez puede adicionar HCl para dar lugar a B.

a) Deduce las estructuras de A, B y C sabiendo que la oxidación de C genera una cetona de fórmula C_4H_8O. (0,9 ptos)

b) Formula y nombra todos los compuestos orgánicos. (0,35 ptos)

Datos: Masas (uma): C = 12,01; H = 1,00; Cl = 35,45

El plan Fórmula empírica con los porcentajes (tema 5). La cetona C_4H_8O solo puede ser la butanona: es el ancla para reconstruir C. B sale de C por Markovnikov y tiene que ser aquiral. A es el isómero quiral que da C por eliminación (base y calor: E2, Zaitsev, tema 9).

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es

Resolución

Paso 1. Fórmula empírica

$$n(\mathrm{C}) = \frac{59{,}7}{12{,}01} = 4{,}971 \qquad \textit{en 100 g de compuesto}$$
$$n(\mathrm{H}) = \frac{10{,}8}{1{,}00} = 10{,}80 \qquad \textit{ídem}$$
$$n(\mathrm{Cl}) = \frac{29{,}4}{35{,}45} = 0{,}8293 \qquad \textit{ídem}$$
$$\mathrm{C}: \ \frac{4{,}971}{0{,}8293} = 5{,}99 \approx 6 \qquad \textit{divido entre el menor}$$
$$\mathrm{H}: \ \frac{10{,}80}{0{,}8293} = 13{,}0 \qquad \textit{ídem}$$

$\mathrm{C_6H_{13}Cl}$ $\qquad M = 6 \cdot 12{,}01 + 13 \cdot 1{,}00 + 35{,}45 = 120{,}5$ g/mol

Paso 2. ¿Fórmula molecular? El enunciado no da la masa molar

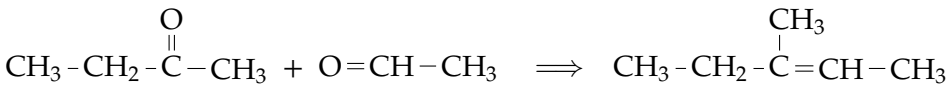
Pruebo $n = 1$ y $n = 2$ con los grados de insaturación (herramienta H2):

$$n = 1,\ \mathrm{C_6H_{13}Cl}: \ \mathrm{GI} = \frac{2 \cdot 6 + 2 - 13 - 1}{2} = 0 \qquad \textit{saturado, sin anillos: posible}$$
$$n = 2,\ \mathrm{C_{12}H_{26}Cl_2}: \ \mathrm{GI} = \frac{2 \cdot 12 + 2 - 26 - 2}{2} = -1 \qquad \textit{negativo: imposible}$$

¿Por qué? *Con $n = 2$ la molécula necesitaría más átomos monovalentes (H y Cl) de los que caben en una cadena de 12 C. Solo vale $n = 1$: $C_6H_{13}Cl$, un cloroalcano saturado con un solo Cl, justo lo que pide la química del problema (A pierde un HCl y C gana un HCl).*

Paso 3. C: el alqueno, a partir de la butanona

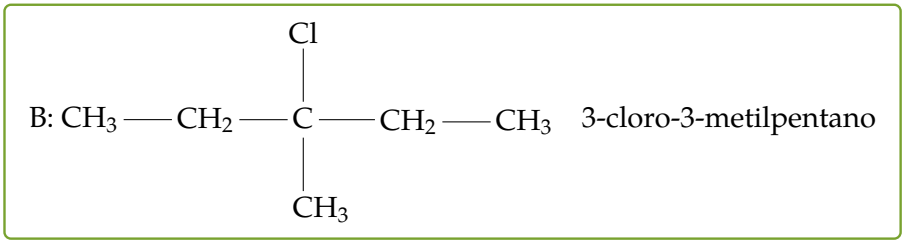
A pierde HCl con la base (eliminación, tema 9): C es un alqueno $\mathrm{C_6H_{12}}$. La única cetona $\mathrm{C_4H_8O}$ es la butanona, $\mathrm{CH_3-CO-CH_2-CH_3}$: su carbono carbonílico era un $=\mathrm{C(CH_3)(CH_2CH_3)}$. Los 2 C que faltan forman el otro extremo, $=\mathrm{CH-CH_3}$ (que da ácido acético con $\mathrm{KMnO_4}$, o etanal con ozono):



C: $\mathrm{CH_3-CH=C(CH_3)-CH_2-CH_3}$ 3-metilpent-2-eno

Paso 4. B: Markovnikov

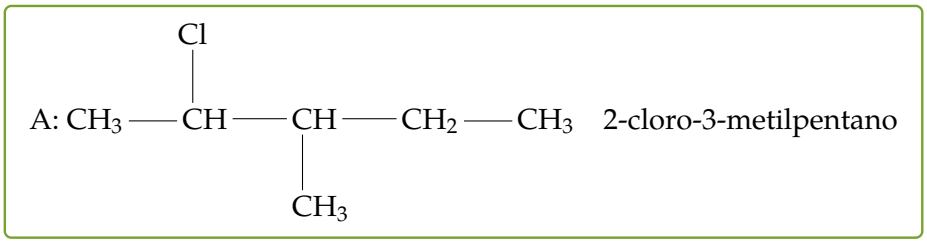
En C, el C2 tiene un H y el C3 ninguno. El $\mathrm{H^+}$ va al C2 y queda el carbocatión terciario en C3, donde entra el $\mathrm{Cl^-}$:



¿Por qué? *El C3 de B lleva dos grupos etilo iguales: no es asimétrico, y B es ópticamente inactivo, como dice el enunciado. Es la comprobación de que la adición ha sido Markovnikov.*

Paso 5. A: el isómero quiral que da C

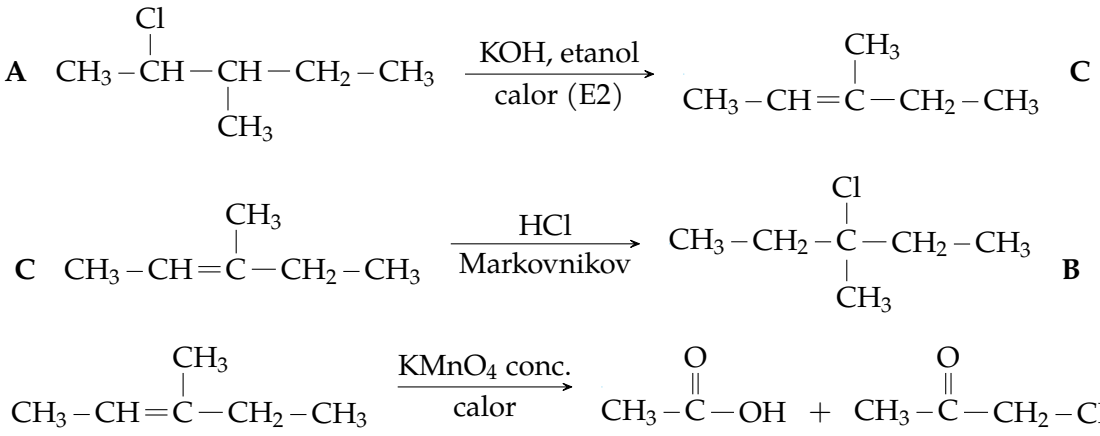
El Cl de A tiene que estar en uno de los carbonos del doble enlace de C (C2 o C3), porque la eliminación forma el doble enlace entre el C_α y un C_β. En C3 sería B. Queda el C2:



El C2 (H, Cl, CH_3, $CH(CH_3)CH_2CH_3$) es asimétrico (y el C3 también): A es ópticamente activo. Al eliminar HCl, el H puede salir del C1 (daría 3-metilpent-1-eno, monosustituido) o del C3 (3-metilpent-2-eno, trisustituido): por Zaitsev, el mayoritario es C.

Candidato $C_6H_{13}Cl$ quiral	alqueno de Zaitsev	¿sirve?
2-cloro-3-metilpentano	3-metilpent-2-eno	**sí**
1-cloro-3-metilpentano	3-metilpent-1-eno	no (no da cetona)
3-cloro-2-metilpentano	2-metilpent-2-eno (da propanona)	no

Paso 6. Esquema completo y nombres



b) Los nombres de todos los compuestos orgánicos del problema, incluidos los dos productos de la ruptura de C:

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es

A: 2-cloro-3-metilpentano; B: 3-cloro-3-metilpentano; C: 3-metilpent-2-eno
cetona: butanona; otro producto: ácido acético (con $KMnO_4$) o etanal (con O_3)

△ Error típico

Poner el Cl de B en el C2 (adición anti-Markovnikov). Saldría el 2-cloro-3-metilpentano, que es *quiral*: contradice el enunciado. La falta de actividad óptica de B es justamente la pista que obliga a aplicar Markovnikov.

Otra forma de plantearlo: empezar por B

PARA PROFUNDIZAR

En lugar de partir de la cetona, parto de B, que es la pieza con más condiciones: es un $C_6H_{13}Cl$ **aquiral** que sale de un alqueno por Markovnikov, así que su Cl está en un carbono **terciario** (el del carbocatión más estable). Los cloruros terciarios $C_6H_{13}Cl$ son solo tres, y para cada uno miro de qué alquenos puede venir y qué cetona darían esos alquenos al romperse:

B (terciario, aquiral)	alquenos que lo dan	cetona de la ruptura
2-cloro-2-metilpentano	2-metilpent-2-eno; 2-metilpent-1-eno	propanona; pentan-2-ona ($C_5H_{10}O$)
2-cloro-2,3-dimetilbutano	2,3-dimetilbut-2-eno; 2,3-dimetilbut-1-eno	propanona; 3-metilbutan-2-ona ($C_5H_{10}O$)
3-cloro-3-metilpentano	**3-metilpent-2-eno**; 2-etilbut-1-eno	**butanona** (C_4H_8O); pentan-3-ona

Solo una fila da una cetona C_4H_8O: B es el 3-cloro-3-metilpentano y C, el 3-metilpent-2-eno. A es entonces el cloruro *quiral* que da C por eliminación de Zaitsev: el 2-cloro-3-metilpentano. Mismo resultado.

Cuándo conviene cada una: empezar por la cetona es más corto cuando el fragmento conocido es pequeño y casi solo cabe una posibilidad; empezar por B (una tabla de candidatos) es más seguro cuando dudas, porque obliga a comprobar todas las opciones y no se escapa ninguna.

Ojo con los datos del enunciado

PARA PROFUNDIZAR

- **No se da la masa molar.** Hay que justificar que la fórmula molecular es la empírica (con los grados de insaturación, como arriba). Si solo escribes «tomo $n = 1$», el tribunal puede quitarte puntos.
- **No se dice con qué se oxida C.** Con $KMnO_4$ concentrado y caliente da butanona + ácido acético; con ozono, butanona + etanal. La cetona es la misma, que es lo único que usa el problema. En el examen, escribe qué oxidante supones.
- **A tiene dos carbonos asimétricos** (C2 y C3): son cuatro estereoisómeros. El enunciado solo pregunta la estructura, no la configuración; basta con señalarlos.

Lo que has usado del libro

PARA PROFUNDIZAR

Fórmula empírica e insaturaciones (tema 5), carbono asimétrico (tema 7), carbocationes (tema 8), eliminación con Zaitsev (tema 9) y, de este tema, Markovnikov y la reconstrucción del alqueno a partir de su ruptura oxidativa.

10

Química orgánica para oposiciones

Repaso con problemas de oposición

Libro de repaso para quien ya tiene base. Reúne casi todos los problemas de orgánica de las oposiciones de toda España, clasificados por tipo y resueltos, e incluye la espectroscopía (IR, RMN y masas).

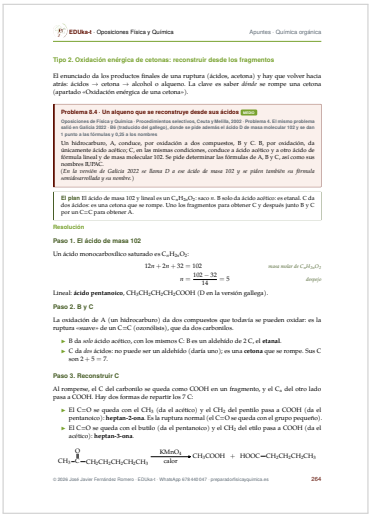
10 temas · 171 problemas · 118 de oposiciones

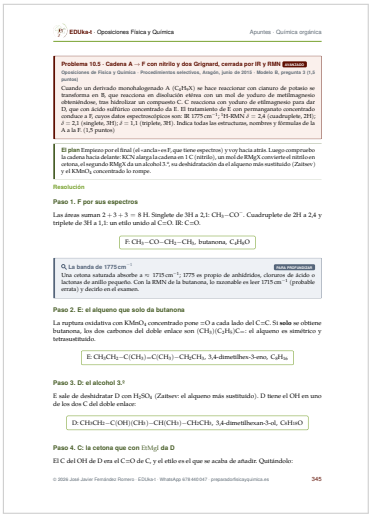
En esta muestra

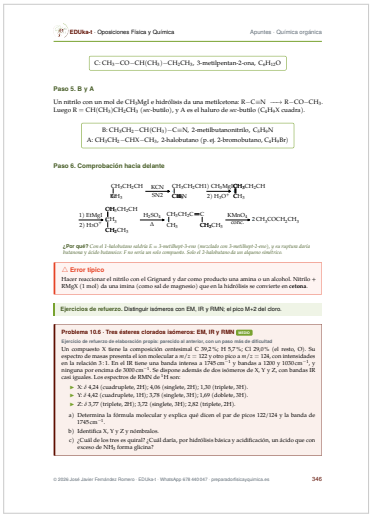
Problema 8.4 · Un alqueno que se reconstruye desde sus ácidos (Ceuta y Melilla 2002) 78

Problema 8.5 · Dos alcoholes $C_7H_{16}O$ (Comunidad Valenciana) 79

Problema 10.5 · Cadena A → F cerrada por IR y RMN (Aragón 2015) y refuerzo de espectroscopía 80







Tipo 2. Oxidación enérgica de cetonas: reconstruir desde los fragmentos

El enunciado da los productos finales de una ruptura (ácidos, acetona) y hay que volver hacia atrás: ácidos → cetona → alcohol o alqueno. La clave es saber *dónde* se rompe una cetona (apartado «Oxidación enérgica de una cetona»).

Problema 8.4 · Un alqueno que se reconstruye desde sus ácidos MEDIO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos, Ceuta y Melilla, 2002 · Problema 4. El mismo problema salió en Galicia 2022 · B6 (traducido del gallego), donde se pide además el ácido D de masa molecular 102 y se dan 1 punto a las fórmulas y 0,25 a los nombres

Un hidrocarburo, A, conduce, por oxidación a dos compuestos, B y C. B, por oxidación, da únicamente ácido acético; C, en las mismas condiciones, conduce a ácido acético y a otro ácido de fórmula lineal y de masa molecular 102. Se pide determinar las fórmulas de A, B y C, así como sus nombres IUPAC.
(*En la versión de Galicia 2022 se llama D a ese ácido de masa 102 y se piden también su fórmula semidesarrollada y su nombre.*)

El plan El ácido de masa 102 y lineal es un $C_nH_{2n}O_2$: saco n. B solo da ácido acético: es etanal. C da dos ácidos: es una cetona que se rompe. Uno los fragmentos para obtener C y después junto B y C por un C=C para obtener A.

Resolución

Paso 1. El ácido de masa 102

Un ácido monocarboxílico saturado es $C_nH_{2n}O_2$:

$$12n + 2n + 32 = 102 \qquad \textit{masa molar de } C_nH_{2n}O_2$$

$$n = \frac{102 - 32}{14} = 5 \qquad \textit{despejo}$$

Lineal: **ácido pentanoico**, $CH_3CH_2CH_2CH_2COOH$ (D en la versión gallega).

Paso 2. B y C

La oxidación de A (un hidrocarburo) da dos compuestos que todavía se pueden oxidar: es la ruptura «suave» de un C=C (ozonólisis), que da dos carbonilos.

- B da *solo* ácido acético, con los mismos C: B es un aldehído de 2 C, el **etanal**.
- C da *dos* ácidos: no puede ser un aldehído (daría uno); es una **cetona** que se rompe. Sus C son $2 + 5 = 7$.

Paso 3. Reconstruir C

Al romperse, el C del carbonilo se queda como COOH en un fragmento, y el C_α del otro lado pasa a COOH. Hay dos formas de repartir los 7 C:

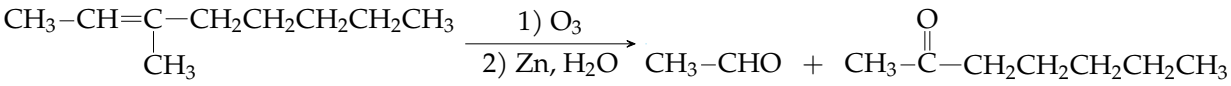
- El C=O se queda con el CH_3 (da el acético) y el CH_2 del pentilo pasa a COOH (da el pentanoico): **heptan-2-ona**. Es la ruptura normal (el C=O se queda con el grupo pequeño).
- El C=O se queda con el butilo (da el pentanoico) y el CH_2 del etilo pasa a COOH (da el acético): **heptan-3-ona**.

$$CH_3\!-\!\overset{\overset{O}{\|}}{C}\!-\!CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3 \xrightarrow[\text{calor}]{KMnO_4} CH_3COOH \;+\; HOOC\!-\!CH_2CH_2CH_2CH_3$$

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es

Paso 4. Reconstruir A

Se juntan los dos carbonilos por sus C=O en un C=C (ozonólisis al revés):



¿Por qué? *Al hidrocarburo le numeramos la cadena más larga que contiene el C=C: 8 C, el doble enlace en el C2 y un metilo en el C3. Tiene isomería E/Z; el enunciado no da datos para elegir.*

A: 3-metiloct-2-eno B: etanal C: heptan-2-ona D: ácido pentanoico

Con la otra cetona: A = 3-etilhept-2-eno, $CH_3–CH=C(C_2H_5)–CH_2CH_2CH_2CH_3$, y C = heptan-3-ona. El enunciado no permite elegir entre las dos; la primera es la que sigue la regla de ruptura habitual.

Sobre la solución publicada PARA PROFUNDIZAR

La solución oficial de Galicia 2022 acepta A = 3-metilhept-2-eno o 3-metiloct-2-eno. El 3-metilhept-2-eno daría etanal y hexan-2-ona, y la hexan-2-ona se rompe en ácido acético y ácido *butanoico* ($M = 88$), no en uno de masa 102. Las respuestas coherentes con todos los datos son las dos dadas arriba.

△ Error típico

Reconstruir la cetona uniendo los dos ácidos «por los COOH». Uno de los dos COOH era el C=O de la cetona, pero el otro era un CH_2: en la cetona hay que quitarle los dos O a ese carbono.

Problema 8.5 · Dos alcoholes $C_7H_{16}O$: yodoformo, quiralidad y oxidación permangánica

MEDIO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos, Comunidad Valenciana, 2004 · Problema 1

Dos alcoholes isómeros, A y B, de fórmula molecular $C_7H_{16}O$, no dan la reacción de yodoformo y de ellos sólo A es ópticamente activo. Por oxidación suave dan, respectivamente C y D, isómeros de fórmula molecular $C_7H_{14}O$. Cuando C se somete a una oxidación permangánica se obtiene acetona y un ácido E ($C_4H_8O_2$) y por idéntico tratamiento, D da, junto a acetona, otro ácido F, isómero de E. ¿Cuáles son las estructuras de C, D, E y F? ¿Cuáles son las estructuras de A y B?

El plan Los alcoholes dan por oxidación suave $C_7H_{14}O$: son alcoholes que pasan a carbonilos. La rotura permangánica de C y D da acetona: junto al C=O hay un grupo isopropilo. Con los ácidos E y F ($C_4H_8O_2$: butanoico o 2-metilpropanoico) reconstruyo C y D, y de ahí A y B. Compruebo yodoformo y actividad óptica.

Resolución

Paso 1. Qué son C y D

$C_7H_{16}O \rightarrow C_7H_{14}O$: se pierden 2 H (H14): oxidación de alcohol a carbonilo. Como C y D se rompen en dos fragmentos (acetona + ácido), son **cetonas**: un aldehído daría un solo ácido. Así que A y B son alcoholes **secundarios**.

Problema 10.5 · Cadena A → F con nitrilo y dos Grignard, cerrada por IR y RMN AVANZADO

Oposiciones de Física y Química · Procedimientos selectivos, Aragón, junio de 2015 · Modelo B, pregunta 3 (1,5 puntos)

Cuando un derivado monohalogenado A (C_4H_9X) se hace reaccionar con cianuro de potasio se transforma en B, que reacciona en disolución etérea con un mol de yoduro de metilmagnesio obteniéndose, tras hidrolizar un compuesto C. C reacciona con yoduro de etilmagnesio para dar D, que con ácido sulfúrico concentrado da E. El tratamiento de E con permanganato concentrado conduce a F, cuyos datos espectroscópicos son: IR 1775 cm^{-1}; ^{1}H-RMN $\delta = 2{,}4$ (cuadruplete, 2H); $\delta = 2{,}1$ (singlete, 3H); $\delta = 1{,}1$ (triplete, 3H). Indica todas las estructuras, nombres y fórmulas de la A a la F. (1,5 puntos)

El plan Empiezo por el final (el «ancla» es F, que tiene espectros) y voy hacia atrás. Luego compruebo la cadena hacia delante: KCN alarga la cadena en 1 C (nitrilo), un mol de RMgX convierte el nitrilo en cetona, el segundo RMgX da un alcohol 3.º, su deshidratación da el alqueno más sustituido (Zaitsev) y el $KMnO_4$ concentrado lo rompe.

Resolución

Paso 1. F por sus espectros

Las áreas suman $2+3+3=8$ H. Singlete de 3H a 2,1: $CH_3{-}CO^-$. Cuadruplete de 2H a 2,4 y triplete de 3H a 1,1: un etilo unido al C=O. IR: C=O.

F: $CH_3{-}CO{-}CH_2{-}CH_3$, butanona, C_4H_8O

La banda de 1775 cm^{-1} PARA PROFUNDIZAR

Una cetona saturada absorbe a $\approx$ 1715 cm^{-1}; 1775 es propio de anhídridos, cloruros de ácido o lactonas de anillo pequeño. Con la RMN de la butanona, lo razonable es leer 1715 cm^{-1} (probable errata) y decirlo en el examen.

Paso 2. E: el alqueno que solo da butanona

La ruptura oxidativa con $KMnO_4$ concentrado pone =O a cada lado del C=C. Si **solo** se obtiene butanona, los dos carbonos del doble enlace son $(CH_3)(C_2H_5)C{=}$: el alqueno es simétrico y tetrasustituido.

E: $CH_3CH_2{-}C(CH_3){=}C(CH_3){-}CH_2CH_3$, 3,4-dimetilhex-3-eno, C_8H_{16}

Paso 3. D: el alcohol 3.º

E sale de deshidratar D con H_2SO_4 (Zaitsev: el alqueno más sustituido). D tiene el OH en uno de los dos C del doble enlace:

D: $CH_3CH_2{-}C(OH)(CH_3){-}CH(CH_3){-}CH_2CH_3$, 3,4-dimetilhexan-3-ol, $C_8H_{18}O$

Paso 4. C: la cetona que con EtMgI da D

El C del OH de D era el C=O de C, y el etilo es el que se acaba de añadir. Quitándolo:

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es

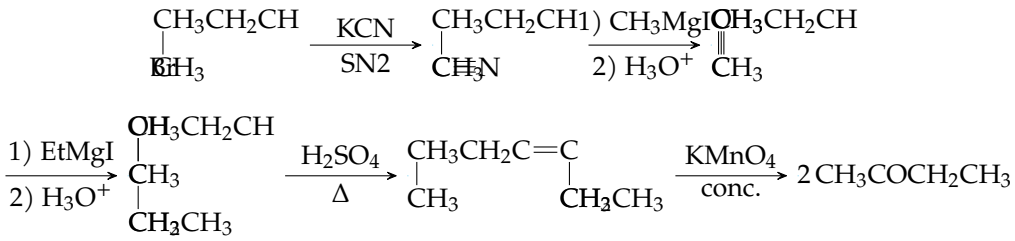
C: $CH_3-CO-CH(CH_3)-CH_2CH_3$, 3-metilpentan-2-ona, $C_6H_{12}O$

Paso 5. B y A

Un nitrilo con un mol de CH_3MgI e hidrólisis da una metilcetona: $R-C\equiv N \longrightarrow R-CO-CH_3$. Luego $R = CH(CH_3)CH_2CH_3$ (*sec*-butilo), y A es el haluro de *sec*-butilo (C_4H_9X cuadra).

B: $CH_3CH_2-CH(CH_3)-C\equiv N$, 2-metilbutanonitrilo, C_5H_9N
A: $CH_3CH_2-CHX-CH_3$, 2-halobutano (p. ej. 2-bromobutano, C_4H_9Br)

Paso 6. Comprobación hacia delante



¿Por qué? *Con el 1-halobutano saldría E = 3-metilhept-3-eno (mezclado con 3-metilhept-2-eno), y su ruptura daría butanona y ácido butanoico: F no sería un solo compuesto. Solo el 2-halobutano da un alqueno simétrico.*

△ Error típico
Hacer reaccionar el nitrilo con el Grignard y dar como producto una amina o un alcohol. Nitrilo + RMgX (1 mol) da una imina (como sal de magnesio) que en la hidrólisis se convierte en **cetona**.

Ejercicios de refuerzo. Distinguir isómeros con EM, IR y RMN; el pico M+2 del cloro.

Problema 10.6 · Tres ésteres clorados isómeros: EM, IR y RMN MEDIO

Ejercicio de refuerzo de elaboración propia: parecido al anterior, con un paso más de dificultad

Un compuesto X tiene la composición centesimal C 39,2 %; H 5,7 %; Cl 29,0 % (el resto, O). Su espectro de masas presenta el ion molecular a $m/z = 122$ y otro pico a $m/z = 124$, con intensidades en la relación 3 : 1. En el IR tiene una banda intensa a 1745 cm^{-1} y bandas a 1200 y 1030 cm^{-1}, y ninguna por encima de 3000 cm^{-1}. Se dispone además de dos isómeros de X, Y y Z, con bandas IR casi iguales. Los espectros de RMN de ^1H son:

- X: δ 4,24 (cuadruplete, 2H); 4,06 (singlete, 2H); 1,30 (triplete, 3H).
- Y: δ 4,42 (cuadruplete, 1H); 3,78 (singlete, 3H); 1,69 (doblete, 3H).
- Z: δ 3,77 (triplete, 2H); 3,72 (singlete, 3H); 2,82 (triplete, 2H).

a) Determina la fórmula molecular y explica qué dicen el par de picos 122/124 y la banda de 1745 cm^{-1}.
b) Identifica X, Y y Z y nómbralos.
c) ¿Cuál de los tres es quiral? ¿Cuál daría, por hidrólisis básica y acidificación, un ácido que con exceso de NH_3 forma glicina?

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es

11

Temario de oposición

Física y Química para profesores de Educación Secundaria

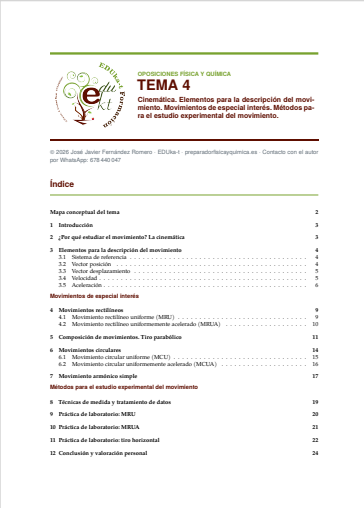
Los temas del temario oficial de la especialidad, desarrollados para la prueba escrita. Cada tema trae un índice, un mapa conceptual, una introducción con enfoque didáctico, el desarrollo completo con demostraciones y ejemplos, y una conclusión con bibliografía.

Temario completo · **6 tomos** · **Resumen de cada tema**

En esta muestra

Tema 4 · Cinemática: portada e índice, mapa conceptual, introducción y desarrollo 83

Tema 54 · Equilibrio químico: portada e índice, mapa conceptual y desarrollo 88



OPOSICIONES FÍSICA Y QUÍMICA

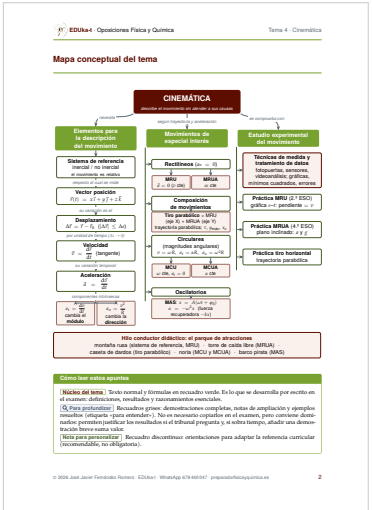
TEMA 4

Cinemática. Elementos para la descripción del movimiento. Movimientos de especial interés. Métodos para el estudio experimental del movimiento.

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · preparadorfisicayquimica.es · Contacto con el autor por WhatsApp: 678 440 047

Índice

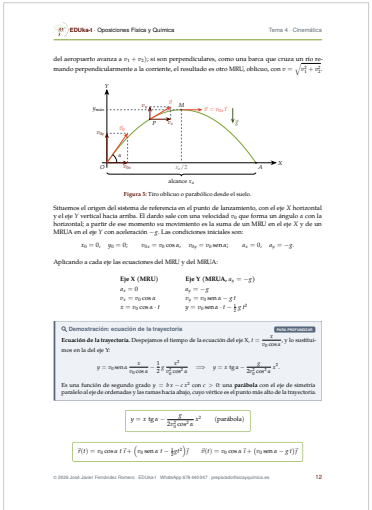
Mapa conceptual del tema 2
1 Introducción 3
2 ¿Por qué estudiar el movimiento? La cinemática 3
3 Elementos para la descripción del movimiento 4
3.1 Sistema de referencia . . . 4
3.2 Vector posición . . . 4
3.3 Vector desplazamiento . . . 5
3.4 Velocidad . . . 5
3.5 Aceleración . . . 6
Movimientos de especial interés
4 Movimientos rectilíneos 9
4.1 Movimiento rectilíneo uniforme (MRU) . . . 9
4.2 Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA) . . . 10
5 Composición de movimientos. Tiro parabólico 11
6 Movimientos circulares 14
6.1 Movimiento circular uniforme (MCU) . . . 15
6.2 Movimiento circular uniformemente acelerado (MCUA) . . . 16
7 Movimiento armónico simple 17
Métodos para el estudio experimental del movimiento
8 Técnicas de medida y tratamiento de datos 19
9 Práctica de laboratorio: MRU 20
10 Práctica de laboratorio: MRUA 21
11 Práctica de laboratorio: tiro horizontal 22
12 Conclusión y valoración personal 24



EDUka-t · Oposiciones Física y Química — Tema 4 · Cinemática

Mapa conceptual del tema

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es 2



EDUka-t · Oposiciones Física y Química — Tema 4 · Cinemática

del aeropuerto avanza a $v_1 + v_2$); si son perpendiculares, como una barca que cruza un río remando perpendicularmente a la corriente, el resultado es otro MRU, oblicuo, con $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$.

Figura 5: Tiro oblicuo o parabólico desde el suelo.

Situemos el origen del sistema de referencia en el punto de lanzamiento, con el eje X horizontal y el eje Y vertical hacia arriba. El dardo sale con una velocidad v_0 que forma un ángulo α con la horizontal; a partir de ese momento su movimiento es la suma de un MRU en el eje X y de un MRUA en el eje Y con aceleración $-g$. Las condiciones iniciales son:

$$x_0 = 0, \quad y_0 = 0; \qquad v_{0x} = v_0 \cos\alpha, \quad v_{0y} = v_0 \operatorname{sen}\alpha; \qquad a_x = 0, \quad a_y = -g.$$

Aplicando a cada eje las ecuaciones del MRU y del MRUA:

Eje X (MRU)	Eje Y (MRUA, $a_y = -g$)
$a_x = 0$	$a_y = -g$
$v_x = v_0 \cos\alpha$	$v_y = v_0 \operatorname{sen}\alpha - gt$
$x = v_0 \cos\alpha \cdot t$	$y = v_0 \operatorname{sen}\alpha \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$

Demostración: ecuación de la trayectoria — Para profundizar

Ecuación de la trayectoria. Despejamos el tiempo de la ecuación del eje X, $t = \frac{x}{v_0 \cos\alpha}$, y lo sustituimos en la del eje Y:

$$y = v_0 \operatorname{sen}\alpha \cdot \frac{x}{v_0 \cos\alpha} - \frac{1}{2} g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2\alpha} \quad \Longrightarrow \quad y = x \operatorname{tg}\alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha} x^2.$$

Es una función de segundo grado $y = bx - cx^2$ con $c > 0$: una **parábola** con el eje de simetría paralelo al eje de ordenadas y las ramas hacia abajo, cuyo vértice es el punto más alto de la trayectoria.

$$y = x \operatorname{tg}\alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha} x^2 \qquad \text{(parábola)}$$

$$\vec{r}(t) = v_0 \cos\alpha \, t\,\vec{i} + \left(v_0 \operatorname{sen}\alpha \, t - \tfrac{1}{2} g t^2\right)\vec{j} \qquad \vec{v}(t) = v_0 \cos\alpha\,\vec{i} + (v_0 \operatorname{sen}\alpha - gt)\vec{j}$$

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es 12

OPOSICIONES FÍSICA Y QUÍMICA

TEMA 4

Cinemática. Elementos para la descripción del movimiento. Movimientos de especial interés. Métodos para el estudio experimental del movimiento.

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · preparadorfisicayquimica.es · Contacto con el autor por WhatsApp: 678 440 047

Índice

Mapa conceptual del tema 2

1 Introducción 3

2 ¿Por qué estudiar el movimiento? La cinemática 3

3 Elementos para la descripción del movimiento 4
- 3.1 Sistema de referencia . . . 4
- 3.2 Vector posición . . . 4
- 3.3 Vector desplazamiento . . . 5
- 3.4 Velocidad . . . 5
- 3.5 Aceleración . . . 6

Movimientos de especial interés

4 Movimientos rectilíneos 9
- 4.1 Movimiento rectilíneo uniforme (MRU) . . . 9
- 4.2 Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA) . . . 10

5 Composición de movimientos. Tiro parabólico 11

6 Movimientos circulares 14
- 6.1 Movimiento circular uniforme (MCU) . . . 15
- 6.2 Movimiento circular uniformemente acelerado (MCUA) . . . 16

7 Movimiento armónico simple 17

Métodos para el estudio experimental del movimiento

8 Técnicas de medida y tratamiento de datos 19

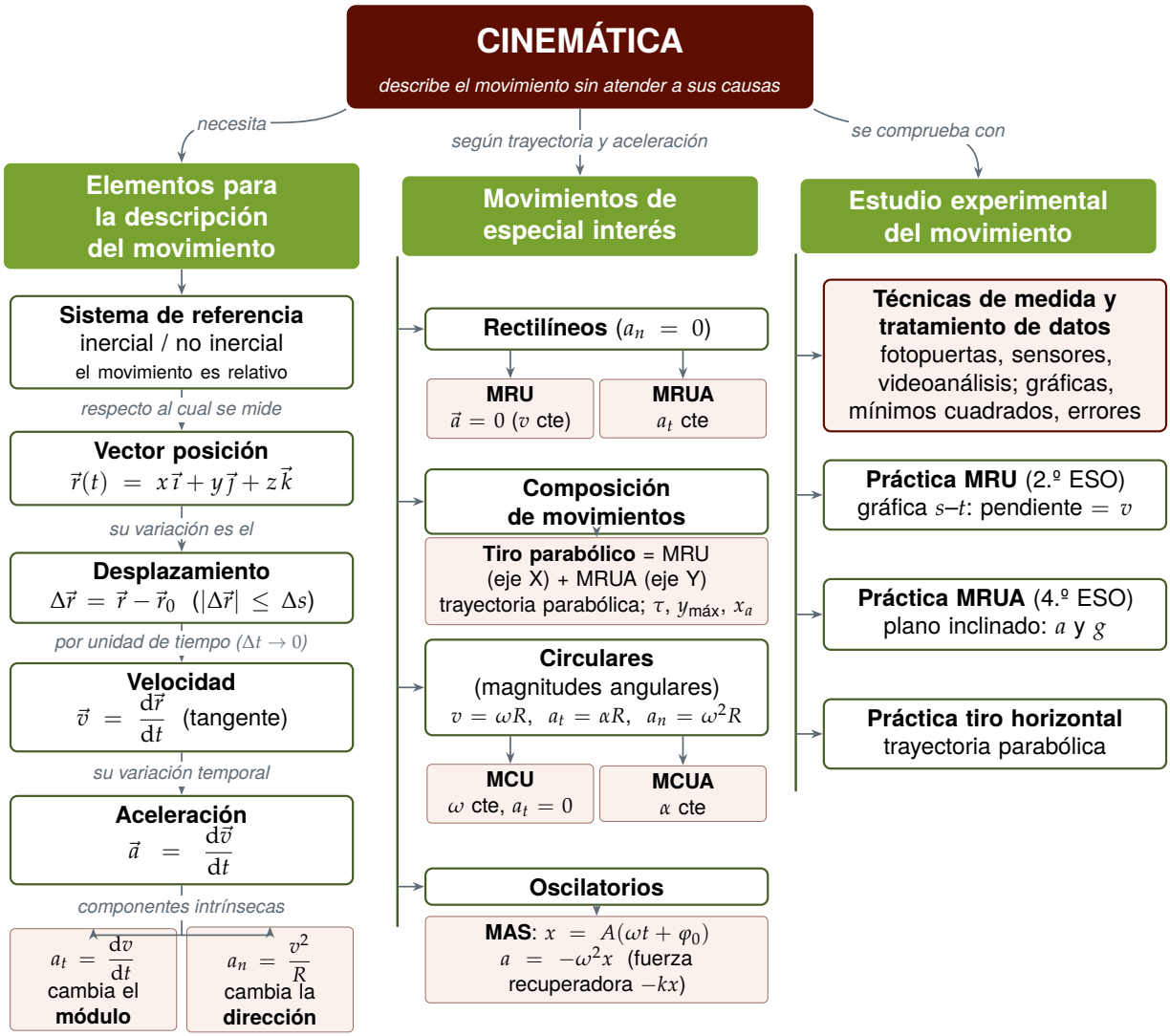
9 Práctica de laboratorio: MRU 20

10 Práctica de laboratorio: MRUA 21

11 Práctica de laboratorio: tiro horizontal 22

12 Conclusión y valoración personal 24

Mapa conceptual del tema



Hilo conductor didáctico: el parque de atracciones

montaña rusa (sistema de referencia, MRU) · torre de caída libre (MRUA) · caseta de dardos (tiro parabólico) · noria (MCU y MCUA) · barco pirata (MAS)

Cómo leer estos apuntes

Núcleo del tema Texto normal y fórmulas en recuadro verde. Es lo que se desarrolla por escrito en el examen: definiciones, resultados y razonamientos esenciales.

Para profundizar Recuadros grises: demostraciones completas, notas de ampliación y ejemplos resueltos (etiqueta «para entender»). No es necesario copiarlos en el examen, pero conviene dominarlos: permiten justificar los resultados si el tribunal pregunta y, si sobra tiempo, añadir una demostración breve suma valor.

Nota para personalizar Recuadro discontinuo: orientaciones para adaptar la referencia curricular (recomendable, no obligatoria).

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es

1 Introducción

«*Profe, si el móvil ya me dice a qué velocidad voy en bici, ¿para qué tengo que aprenderme esto?*». La pregunta llega un viernes a última hora, con media clase mirando el reloj. Es una duda honesta que refleja cómo viven la asignatura muchos adolescentes: en plena etapa de cambios emocionales y cognitivos, desconectan con facilidad si no encuentran sentido a lo que aprenden. Nuestro reto como docentes no es solo transmitir conocimiento, sino conseguir que les importe.

Y en eso la física y la química juegan con ventaja: están en todo lo que les rodea. El GPS de su móvil, la frenada de un patinete eléctrico o la bajada de una montaña rusa son física en estado puro. Con tantos ejemplos a mano, no tenemos excusa para aburrir. Explicarles qué ocurre cuando el vagón se lanza cuesta abajo, o cómo sabe el móvil a qué velocidad se mueven, es la mejor manera de que el aprendizaje sea significativo.

Eso no significa renunciar al rigor. En el desarrollo de este tema me ajusto al contenido y a la estructura que exige la convocatoria de oposiciones, así como a la normativa educativa vigente (LOMLOE), que pone el foco en las competencias y en las situaciones de aprendizaje contextualizadas. En el marco de la LOMLOE, el Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, que establece las enseñanzas mínimas de la ESO, organiza los saberes básicos de Física y Química en cinco bloques: A) Las destrezas científicas básicas, B) La materia, C) La energía, D) La interacción y E) El cambio. La cinemática se sitúa en el bloque D, donde el alumnado describe y predice movimientos sencillos. En Bachillerato, el Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, le dedica un bloque propio (Cinemática) en la Física y Química de 1.º. Combinaremos, por tanto, precisión conceptual y enfoque pedagógico con un objetivo claro: despertar la curiosidad de nuestros alumnos.

Nota para personalizar RECOMENDABLE

Sobre la referencia curricular. Mencionar el currículo en la introducción no es obligatorio, pero sí recomendable. El párrafo anterior es un *ejemplo* basado en los reales decretos estatales de enseñanzas mínimas (Real Decreto 217/2022 para la ESO y Real Decreto 243/2022 para Bachillerato). Lo ideal es citar también el decreto de tu comunidad autónoma, aunque no todas las convocatorias lo exigen. Todo esto lo veremos en detalle en las clases de preparación de la programación didáctica, y podrás hacerlo sin necesidad de memorizar tema a tema esta personalización de la introducción.

2 ¿Por qué estudiar el movimiento? La cinemática

De camino al instituto me cruzo con coches, bicis, patinetes, gente que corre para no perder el autobús... Todo a mi alrededor se mueve. Tan presente está el movimiento que la física tiene una rama que se dedica a estudiarlo: **la cinemática, que describe el movimiento sin tener en cuenta las causas que lo generan y que, en su forma más sencilla, considera los objetos como puntuales** (modelo de *partícula* o *punto material*).

En mecánica clásica, el movimiento se describe matemáticamente sobre un espacio de cuatro dimensiones: las tres dimensiones espaciales, x, y, z, y la temporal, t, que se considera absoluta (igual para todos los observadores).

Para estudiarlo nos iremos a un parque de atracciones: la mejor forma de acercar la física al alumnado es partir de experiencias que ya ha vivido en primera persona.

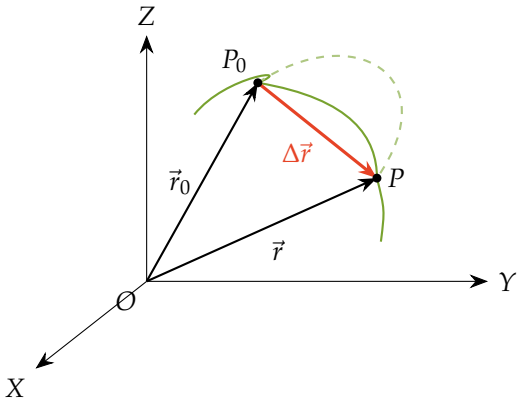
© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es

3.3 Vector desplazamiento

Para poder abordar el estudio del movimiento es necesario expresar el cambio de posición de un móvil, que se representa mediante el llamado **vector desplazamiento**. Lo definiremos como el vector que tiene su origen en la posición inicial del móvil y su extremo en la posición final:

$$\Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0 = \Delta x\,\vec{\imath} + \Delta y\,\vec{\jmath} + \Delta z\,\vec{k}$$

Es independiente de la trayectoria y no hay que confundirlo con la distancia recorrida Δs (longitud del arco de trayectoria). En general $|\Delta\vec{r}| \leq \Delta s$, y solo son iguales en un movimiento rectilíneo sin cambio de sentido.



El móvil, al pasar de P_0 a P, puede seguir distintas trayectorias, pero el vector desplazamiento $\Delta\vec{r}$ es siempre el mismo.

Figura 1: Vectores posición y vector desplazamiento.

3.4 Velocidad

Se llama **velocidad media** al desplazamiento que realiza un móvil por unidad de tiempo entre dos instantes dados:

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{t - t_0}$$

Como $\Delta t > 0$, el vector velocidad media tiene la misma dirección y sentido que el vector desplazamiento. Solo compara la posición inicial con la final: no informa de lo que ocurre entre ambos instantes. No debe confundirse con la **rapidez media**, $\Delta s/\Delta t$, que usa la distancia recorrida sobre la trayectoria. Para describir el movimiento en cada instante necesitamos la velocidad instantánea.

Ejemplo: desplazamiento frente a distancia PARA ENTENDER

Un corredor da una vuelta completa a una pista de 400 m en 80 s. Como termina donde empezó, $\Delta\vec{r} = 0$ y su **velocidad media es nula**. Sin embargo, ha recorrido $\Delta s = 400$ m, así que su **rapidez media** es $400/80 = 5$ m/s. Las dos magnitudes responden a preguntas distintas: «¿cuánto me he alejado?» y «¿cuánto he corrido?».

La **velocidad instantánea** es **el límite de la velocidad media en un intervalo de tiempo infinitesimal**, es decir, cuando el incremento de tiempo tiende a cero:

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es

del aeropuerto avanza a $v_1 + v_2$); si son perpendiculares, como una barca que cruza un río remando perpendicularmente a la corriente, el resultado es otro MRU, oblicuo, con $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$.

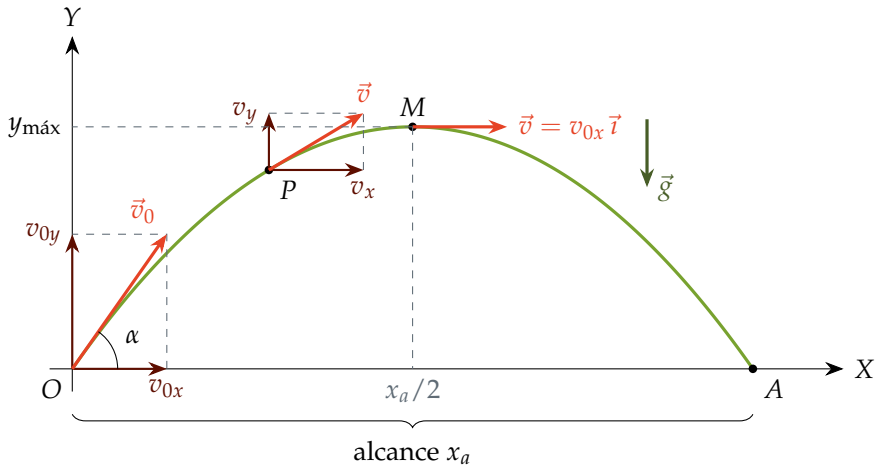


Figura 5: Tiro oblicuo o parabólico desde el suelo.

Situemos el origen del sistema de referencia en el punto de lanzamiento, con el eje X horizontal y el eje Y vertical hacia arriba. El dardo sale con una velocidad v_0 que forma un ángulo α con la horizontal; a partir de ese momento su movimiento es la suma de un MRU en el eje X y de un MRUA en el eje Y con aceleración $-g$. Las condiciones iniciales son:

$$x_0 = 0, \quad y_0 = 0; \qquad v_{0x} = v_0 \cos\alpha, \quad v_{0y} = v_0 \operatorname{sen}\alpha; \qquad a_x = 0, \quad a_y = -g.$$

Aplicando a cada eje las ecuaciones del MRU y del MRUA:

Eje X (MRU)	**Eje Y (MRUA, $a_y = -g$)**
$a_x = 0$	$a_y = -g$
$v_x = v_0 \cos\alpha$	$v_y = v_0 \operatorname{sen}\alpha - g\,t$
$x = v_0 \cos\alpha \cdot t$	$y = v_0 \operatorname{sen}\alpha \cdot t - \frac{1}{2}\,g\,t^2$

Demostración: ecuación de la trayectoria PARA PROFUNDIZAR

Ecuación de la trayectoria. Despejamos el tiempo de la ecuación del eje X, $t = \dfrac{x}{v_0 \cos\alpha}$, y lo sustituimos en la del eje Y:

$$y = v_0 \operatorname{sen}\alpha \frac{x}{v_0 \cos\alpha} - \frac{1}{2}\,g\,\frac{x^2}{v_0^2 \cos^2\alpha} \quad \Longrightarrow \quad y = x\ \operatorname{tg}\alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha}\,x^2.$$

Es una función de segundo grado $y = b\,x - c\,x^2$ con $c > 0$: una **parábola** con el eje de simetría paralelo al eje de ordenadas y las ramas hacia abajo, cuyo vértice es el punto más alto de la trayectoria.

$$y = x\ \operatorname{tg}\alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha}\,x^2 \qquad \text{(parábola)}$$

$$\vec{r}(t) = v_0 \cos\alpha\ t\,\vec{\imath} + \left(v_0 \operatorname{sen}\alpha\ t - \tfrac{1}{2}gt^2\right)\vec{\jmath} \qquad \vec{v}(t) = v_0 \cos\alpha\ \vec{\imath} + \left(v_0 \operatorname{sen}\alpha - g\,t\right)\vec{\jmath}$$

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es

OPOSICIONES FÍSICA Y QUÍMICA

TEMA 54

Equilibrio químico. Constante de equilibrio. Modificaciones externas de los equilibrios. Equilibrios heterogéneos.

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · preparadorfisicayquimica.es · Contacto con el autor por WhatsApp: 678 440 047

Índice

Mapa conceptual del tema **2**

1 Introducción **3**

2 ¿Qué es el equilibrio químico? **3**
2.1 Estudio cinético . . . 4
2.2 Estudio termodinámico . . . 5

3 La constante de equilibrio **6**
3.1 Expresiones de la constante de equilibrio . . . 7
3.2 Propiedades de la constante de equilibrio . . . 8
3.3 Grado de disociación . . . 8

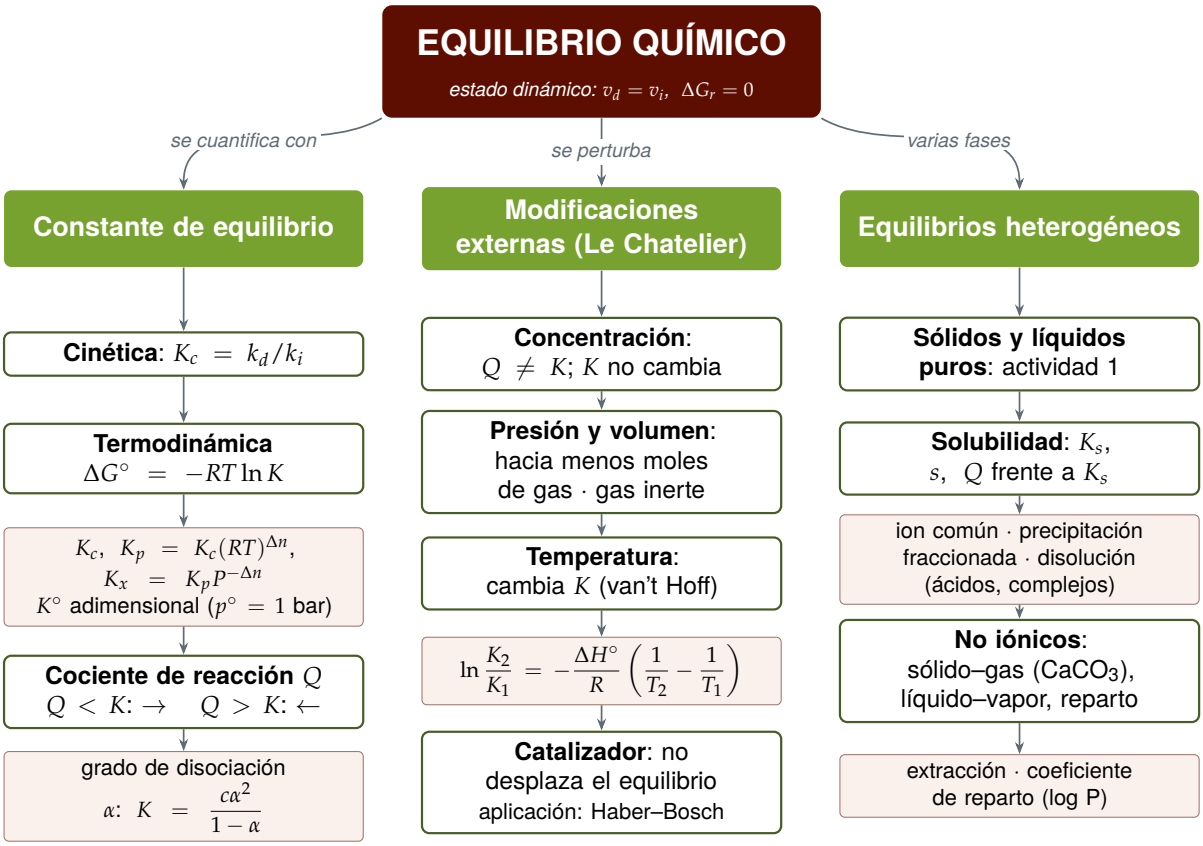
4 Modificaciones externas del equilibrio **9**
4.1 Concentración . . . 9
4.2 Presión y volumen . . . 10
4.3 Temperatura . . . 11
4.4 Catalizadores . . . 12
4.5 Aplicación industrial: la síntesis del amoníaco . . . 13

5 Equilibrios heterogéneos iónicos **14**
5.1 Equilibrios de solubilidad . . . 14

6 Equilibrios heterogéneos no iónicos **17**

7 Conclusión y valoración personal **19**

Mapa conceptual del tema



Hilo conductor didáctico: equilibrios que nos rodean

la hemoglobina en la montaña · el amoníaco de los fertilizantes · el dióxido de nitrógeno que cambia de color · la cal del grifo · los cálculos renales

Cómo leer estos apuntes

Núcleo del tema Texto normal y fórmulas en recuadro verde. Es lo que se desarrolla por escrito en el examen: definiciones, resultados y razonamientos esenciales.

Para profundizar Recuadros grises: demostraciones completas, notas de ampliación y ejemplos resueltos (etiqueta «para entender»). No es necesario copiarlos en el examen, pero conviene dominarlos: permiten justificar los resultados si el tribunal pregunta y, si sobra tiempo, añadir una demostración breve suma valor.

Nota para personalizar Recuadro discontinuo: orientaciones para adaptar la referencia curricular (recomendable, no obligatoria).

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es

Al principio solo ocurre la reacción directa, que va perdiendo velocidad al consumirse los reactivos, mientras la inversa va ganándola al formarse los productos. Llega un momento en que **ambas velocidades se igualan**: se alcanza el **equilibrio químico**, a partir del cual las concentraciones de todas las sustancias permanecen constantes. Es un equilibrio dinámico porque las dos reacciones siguen produciéndose, pero a la misma velocidad.

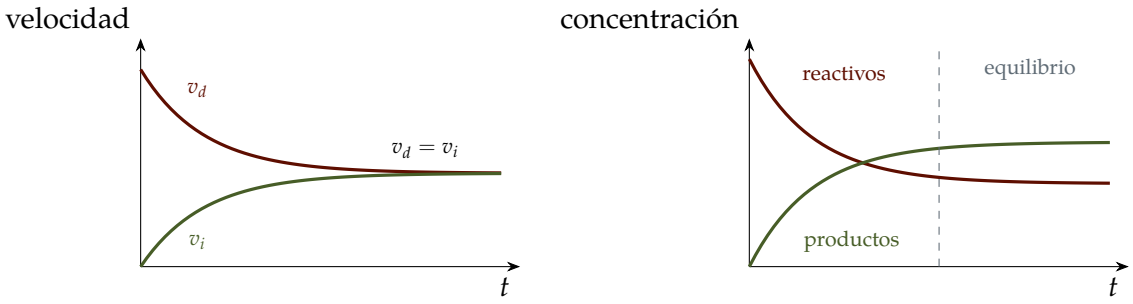


Figura 1: Al alcanzarse el equilibrio las velocidades directa e inversa se igualan y las concentraciones se hacen constantes (pero no iguales entre sí).

El estado de equilibrio tiene tres características que conviene destacar:

- **Es dinámico**: a escala molecular las dos reacciones continúan, aunque a simple vista «no pase nada».
- **Se alcanza espontáneamente** y el sistema no se aleja de él por sí solo: para sacarlo del equilibrio hay que actuar desde fuera (apartado 4).
- **No depende del camino**: a la misma temperatura se llega a composiciones que cumplen la misma constante, tanto si se parte de los reactivos como de los productos o de cualquier mezcla de ambos.

Para entender mejor: ¿cómo sabemos que el equilibrio es dinámico? PARA PROFUNDIZAR

Con isótopos. Si a una mezcla en equilibrio $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2\,HI$ se añade una pequeña cantidad de yodo radiactivo ($^{131}I_2$), las concentraciones no cambian, pero al cabo de un tiempo la radiactividad aparece también en el HI. Los átomos de yodo siguen pasando de una sustancia a otra: las dos reacciones no se han detenido, solo ocurren a la misma velocidad. Es lo que ocurre en la tienda de la analogía: el número de clientes no cambia, pero no son siempre los mismos.

2.1 Estudio cinético

La primera interpretación del equilibrio, debida a Guldberg y Waage (1864), fue cinética: la **ley de acción de masas**. Supongamos que tanto la reacción directa como la inversa son elementales, de modo que sus órdenes coinciden con los coeficientes estequiométricos:

$$v_d = k_d\,[\mathrm{A}]^a[\mathrm{B}]^b \qquad\qquad v_i = k_i\,[\mathrm{C}]^c[\mathrm{D}]^d$$

En el equilibrio ambas velocidades son iguales, $k_d[\mathrm{A}]^a_{eq}[\mathrm{B}]^b_{eq} = k_i[\mathrm{C}]^c_{eq}[\mathrm{D}]^d_{eq}$, y el cociente de las dos constantes de velocidad es también constante a cada temperatura. Es la **constante de equilibrio** referida a concentraciones, K_c:

$$K_c = \frac{k_d}{k_i} = \frac{[\mathrm{C}]^c_{eq}\,[\mathrm{D}]^d_{eq}}{[\mathrm{A}]^a_{eq}\,[\mathrm{B}]^b_{eq}}$$

© 2026 José Javier Fernández Romero · EDUka-t · WhatsApp 678 440 047 · preparadorfisicayquimica.es

Aunque esta deducción supone reacciones elementales, la expresión de K_c es válida sea cual sea el mecanismo, como demuestra la termodinámica: en la constante de equilibrio los exponentes *siempre* son los coeficientes estequiométricos, aunque en la ecuación de velocidad no lo sean.

2.2 Estudio termodinámico

Una reacción es espontánea cuando su variación de energía libre de Gibbs es negativa ($\Delta G_r < 0$), no espontánea cuando es positiva y está en equilibrio cuando es nula ($\Delta G_r = 0$). Cualquier mezcla de reactivos y productos evoluciona espontáneamente hacia el equilibrio, que corresponde al **mínimo de la energía libre** del sistema. Por eso una reacción puede avanzar hacia los productos o hacia los reactivos, según la composición de partida.

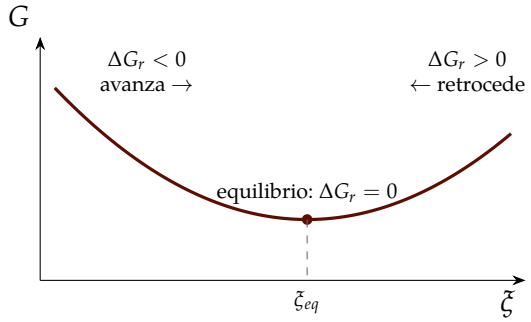


Figura 2: Energía libre frente al grado de avance ξ: es mínima en el equilibrio, y desde cualquier composición la reacción evoluciona hacia él.

La energía libre de cada componente se expresa mediante su **potencial químico**, que depende de su **actividad** a_i (su «concentración efectiva»): $\mu_i = \mu_i^\circ + RT\ln a_i$. A partir de él se obtiene:

$$\Delta G_r = \Delta G_r^\circ + RT\ln Q \qquad Q = \frac{a_C^c\, a_D^d}{a_A^a\, a_B^b}$$

donde ΔG_r° es la variación de energía libre estándar y Q el **cociente de reacción**, que tiene la misma forma que la constante de equilibrio pero se calcula con las actividades en cualquier momento. En el equilibrio, $\Delta G_r = 0$ y Q toma el valor de la constante de equilibrio K:

$$\Delta G_r^\circ = -RT\ln K \qquad \Longleftrightarrow \qquad K = e^{-\Delta G_r^\circ / RT}$$

Esta expresión es fundamental: conecta las magnitudes termodinámicas con la composición del sistema en el equilibrio. Su deducción detallada, a partir de la dependencia de la energía de Gibbs con la presión, y su uso para calcular constantes con datos de tablas se desarrollan en el Tema 53; aquí la tomamos como punto de partida.

Demostración: de los potenciales químicos a $\Delta G_r = \Delta G_r^\circ + RT\ln Q$ PARA PROFUNDIZAR

La energía libre de reacción es la diferencia entre la de los productos y la de los reactivos, ponderadas

Temario · 91