

Combustión espontánea de una mezcla sólida de zinc, yodo y sales de amonio y estroncio

Francisco Javier Vaquero- Blanco

Resumen: La combustión de una mezcla de sustancias tras añadir una porción de ciertos líquidos es un tipo de experiencia bastante espectacular pero que ya aparece descrita en distintas publicaciones. En este artículo se expone la consecución, novedosa, de una combustión de una mezcla de sustancias sólidas simplemente al añadir varios componentes en polvo.

Palabras clave: Combustión, fuego, reacción exotérmica, catalizador, oxidación y reducción.

Abstract: The combustion of a mixture of substances after adding a portion of certain liquid is a type of experience quite spectacular but it already appears in various publications. This paper describes the achievement, innovative, of the combustion of a mixture of various substances simply by adding more powder components.

Keywords: Combustion, fire, exothermic reaction, catalyst, oxidation and reduction.

Introducción

Las reacciones de combustión son procesos de oxidación y reducción altamente exotérmicos en los que el calor generado llega a producir fuego. Este tipo de experimentos causan un gran impacto y motivación, especialmente en los alumnos de secundaria, ya sean de ESO o de bachillerato. Esto es aún más notable si la ignición de la mezcla no se produce mediante una llama sino sencillamente tras añadir unas gotas de un cierto líquido a la misma. Son prácticas que, con las debidas precauciones, pueden realizarse en un laboratorio de un Instituto de Enseñanza Secundaria y que se pueden explicar en el marco de la asignatura de Física y Química en los distintos niveles de ESO y bachillerato.

Antecedentes

Reacción de zinc y yodo¹⁻⁴

La mezcla de los dos elementos en polvo no produce ningún efecto pero si añadimos unas gotas de agua observamos unos humos de color violeta debido a la sublimación del yodo en exceso. El proceso es claramente exotérmico y las reacciones que lo describen son las siguientes.¹



F. J. Vaquero-Blanco

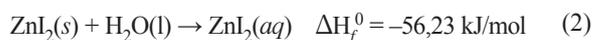
Departamento de Física y Química, I.E.S. ÍTACA.

Avda de los Castillos s/n 28925

Alcorcón (Madrid).

C-e: javiervaqueroconchi@yahoo.es

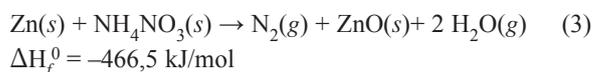
Recibido: 21/01/2013. Aceptado: 18/04/2013.



No está claro cuál es la función del agua⁴ pero, sin duda, disuelve el yoduro de zinc que se forma favoreciendo la reacción. Es una reacción bastante espectacular pero el calor generado no llega a producir llamas.

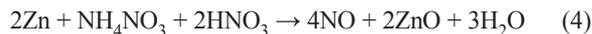
Reacción de sales de amonio y zinc^{1,2}

Si mezclamos una pequeña cantidad en polvo de sales de amonio (nitrato de amonio y cloruro de amonio) y zinc no se aprecia cambio alguno, pero al añadir varias gotas de agua se observa un proceso altamente exotérmico con la generación de humo y fuego. Una reacción que puede describir la transformación es la siguiente¹:



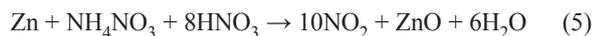
Se trata de un proceso de oxidación-reducción cuyo ajuste, aunque no trivial, no ofrece ningún problema destacable. La función del agua en el proceso es algo más compleja. Al parecer¹ la adición del agua genera una descomposición controlada del NH_4NO_3 para formar N_2O y agua. Este proceso exotérmico provoca que se derrita el nitrato y favorece el proceso de oxidación-reducción entre el nitrato de amonio y el zinc.

Hay otras² posibles reacciones asociadas al proceso. En un caso se plantea que los productos sean ZnO , NO y H_2O . Sin embargo el ajuste de la reacción redox conduce a la siguiente expresión:



La ecuación 4 no es válida para describir el fenómeno porque en el experimento solo se utilizan como reactivos Zn y NH_4NO_3 . El ácido nítrico no está incluido en el proceso.

También² se plantea la posibilidad de que los productos de la reacción que consideramos sean ZnO, NO₂ y H₂O. La formación de NO₂ no es verosímil porque se trata de un gas de color pardo que no se percibe en el experimento. Por otro lado, el ajuste de la reacción como proceso redox conduce, al igual que en la reacción anterior, a la presencia de ácido nítrico en los reactivos:



Experimento

Basándonos en la experiencia del experimento de las sales de amonio con zinc¹ hemos llegado a desarrollar un proceso similar pero con dos diferencias: 1) se utiliza la misma mezcla de sales de amonio y zinc pero no se incorpora agua para que se inicie la combustión, en lugar de ésta se añade una mezcla sólida en estado de polvo; 2) al usar la mezcla sólida el proceso de combustión tarda más en producirse que en el caso de utilizar agua.

Materiales

Como ya se ha indicado antes el experimento se basa en la unión de dos mezclas sólidas. Para abreviar denominaremos a la primera “mezcla amonio-zinc” y a la segunda “mezcla yodo-estroncio”. La composición de las mismas es la siguiente:

- **Mezcla amonio-zinc.** Consiste en una mezcla de nitrato de amonio, cloruro de amonio y zinc, todos en estado sólido y pulverizados. Aproximadamente¹ 4 g del primero, 0,5 g del segundo y 4 g del tercero.
- **Mezcla yodo-estroncio.** Se denomina así a una mezcla de yodo y cloruro de estroncio. Ambos deben estar en estado sólido y pulverizados. La experiencia indica que hay que añadir 0,2 g de yodo y 0,3 g de cloruro de estroncio.

Procedimiento

En primer lugar se preparan por separado las mezclas amonio-zinc y yodo-estroncio (Figura 1).



Figura 1. La mezcla yodo-estroncio está en la espátula y la mezcla amonio-zinc en el vasito.

A continuación se ponen en contacto las dos mezclas sólidas en un recipiente pequeño y dentro de una vitrina de gases. Después se remueve el conjunto rápidamente con una espátula. En aproximadamente medio minuto comienza la reacción. Se trata de un proceso altamente exotérmico, en el cual se desprenden humos de distintos colores y una gran llama (Figura 2).



Figura 2. La nube de humo y la llama alcanzan su apogeo en medio minuto aproximadamente.

Finalmente desaparecen los humos y la llama y el recipiente queda con un residuo amarillo-pardo que se dispersa también en torno al mismo. Si el recipiente es de plástico el calor de la reacción provoca que se funda total o parcialmente.

Discusión

La reacción entre la mezcla amonio-zinc y la mezcla yodo-estroncio es un proceso muy similar a la reacción de las sales de amonio y zinc con un poco de agua. El objeto del artículo no es un estudio detallado de mecanismos de reacción sino la introducción de un proceso novedoso con unos fines fundamentalmente educativos para un alumnado de enseñanzas medias.

En la Figura 3 se percibe la reacción de las sales de amonio con zinc tras añadir un poco de agua. Tanto en la Figura 2 como en la Figura 3 aparece en la llama el color blanco provocado



Figura 3. Humos y llamas en la reacción de las sales de amonio con zinc con unas gotas de agua.

por el óxido de zinc¹ y el color verde que presenta a la llama el zinc en polvo que no ha reaccionado. En la Figura 2 puede apreciarse, además, el color violeta de la sublimación del yodo y el rojo correspondiente a las sales de estroncio expuestas a la llama. Estas aportaciones se ven mejor en la Figura 4.



Figura 4. El yodo y el estroncio aportan humo violeta y coloración roja a la llama respectivamente.

Consideremos además los siguientes hechos:

- Las dos reacciones que estamos considerando utilizan como reactivos el nitrato de amonio y el zinc. El cloruro de amonio es un catalizador común a los dos procesos, ya que al reducir la cantidad del mismo hay un descenso de la velocidad de la reacción en los dos casos.
- En la reacción de la Figura 3 se añade agua para iniciar la reacción y en cambio en la reacción de las Figuras 2 y 4 el proceso comienza tras añadir la mezcla yodo-estroncio a la mezcla amonio-zinc. Además la acción del agua es más rápida que la de la mezcla yodo-estroncio, lo cual debe estar relacionado con la mayor superficie de contacto que origina el agua (líquido) respecto a la mezcla yodo-estroncio (sólido).
- Al preparar la mezcla de yodo y cloruro de estroncio se observa un cambio de color. Esto puede apreciarse en las Figuras 6 y 7.



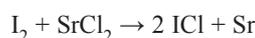
Figura 5. Cloruro de estroncio (blanco) + yodo (negro).



Figura 6. Mezcla de cloruro de estroncio y yodo (mezcla yodo-estroncio).

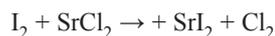
Las reacciones sólido-sólido no son muy frecuentes, pero hay casos en los que un cambio de color denota un proceso químico. Uno de los más sencillos es el del yoduro potásico y el nitrato de plomo(II). Son dos sales blancas que al mezclarse generan nitrato de potasio blanco y yoduro de plomo(II) amarillo.³ Para determinar si en el caso de la mezcla yodo-estroncio se ha producido también una reacción química han hecho las siguientes indagaciones:

- Dado que el ICl es un sólido de bajo punto de fusión⁶ se podría pensar en una reacción entre yodo y cloruro de estroncio de la siguiente forma:



De ser así el ICl, que funde a 27 °C, podría ser un medio de contacto entre NH_4NO_3 y Zn, y así se explicaría el proceso. Sin embargo los potenciales de reducción del estroncio ($E^0 \text{Sr}^{2+}/\text{Sr} = -2,89 \text{ V}$) y del I^- ($E^0 \text{I}_2/\text{I}^- = 0,54 \text{ V}$) impiden que la reacción anterior sea espontánea.

- Otra reacción posible, a priori, conllevaría la formación de cloro:



Sin embargo, de nuevo los valores de los potenciales de reducción conducen a un proceso no espontáneo ($E^0 \text{I}_2/\text{I}^- = 0,54 \text{ V}$; $E^0 \text{Cl}_2/\text{Cl}^- = 1,36 \text{ V}$). Por otro lado no se percibe el olor a cloro al realizar la mezcla de los reactivos.

- Finalmente cabe destacar que la mezcla de la Figura 6 no es una sustancia nueva ya que tanto el yodo como el cloruro de estroncio mantienen sus propiedades; pues, al añadir agua a la mezcla el cloruro de estroncio se disuelve y el yodo permanece insoluble con lo cual el primero sigue siendo un compuesto soluble en agua y el segundo permanece como compuesto muy poco soluble en agua y mantiene el color que tenía el yodo antes de la mezcla. Por otro lado, al calentar la mezcla aparece rápidamente vapores violeta típicos del yodo al sublimar y el resto se mantiene inalterado, lo cual es compatible con la alta temperatura de fusión (870 °C) del cloruro de estroncio.

De estas dos sencillas experiencias se deduce que el cloruro de estroncio mantiene sus propiedades de compuesto iónico (solubilidad en agua y alta temperatura de fusión) y el yodo mantiene las suyas como compuesto covalente molecular apolar (baja solubilidad en agua y baja temperatura de fusión). Todo indica que al realizar la unión del cloruro de estroncio y del yodo no se produce una reacción química.

Podemos deducir, por tanto, que la mezcla yodo-estroncio no supone un proceso químico pero que de algún modo propicia el contacto de las sales de amonio con el zinc para generar entre ellos una reacción de oxidación-reducción extremadamente exotérmica.

Otro aspecto a tener en cuenta es que si cambiamos el cloruro de estroncio por otro cloruro de los restantes metales alcalinotérreos el proceso de combustión no se produce.

Por último, hay que recordar que la reacción que parece que mejor describe los dos procesos mencionados es la indicada en la ecuación química (3). Se trata de un proceso de oxidación-reducción que se comentará con más detalle al tratar los aspectos educativos. Las cantidades estequiométricas de NH_4NO_3 y de Zn no se ajustan exactamente a los 4 g y 4 g que se han citado antes, pero el exceso de Zn parece dar mejores resultados y aporta la coloración verde a la llama ya mencionada antes.

Medidas de seguridad¹

Las reacciones descritas en estos experimentos son potencialmente peligrosas (por las llamas y la toxicidad de los vapores desprendidos). Siempre se deben realizar con supervisión y con las máximas medidas de seguridad (uso de vitrina extractora, guantes, gafas de seguridad, etc.).

No utilizar cantidades de reactivos superiores a las indicadas, ya que es conocido el gran poder oxidante del nitrato de amonio, especialmente cuando se encuentra en estado sólido y pulverizado. Con las normativas actuales⁵ sobre productos químicos peligrosos **el nitrato de amonio conlleva peligros físicos** (GHS01) ya que es un explosivo secundario. De hecho es un componente importante de fertilizantes (por su alto contenido en nitrógeno) y explosivos. Por calentamiento a 200 °C o por detonación se descompone fácilmente generando N_2O y vapor de agua de una forma que puede ser explosiva. Se descubrió la peligrosidad de esta sustancia cuando un barco cargado con la misma estalló en Texas city en 1947.⁷ La experiencia objeto del estudio no presenta peligro relevante si se respetan las cantidades y los procedimientos. **El zinc en polvo llevaría asociado peligros físicos** (GHS03) **y peligro para el medio ambiente** (GHS09) pero en las cantidades indicadas en el experimento no presenta un riesgo apreciable.

En todo caso, la experiencia indica que se puede obtener un buen resultado con solo 2 g de nitrato de amonio, 2 g de Zn y sin alterar las cantidades de cloruro de amonio, yodo y cloruro de estroncio (0,5 g, 0,2 g y 0,3 g).

También es importante tener en cuenta que, aunque la reacción puede tardar casi un minuto en comenzar, es conveniente realizar la unión de las dos mezclas con cierta rapidez para evitar que el proceso exotérmico comience mientras se están manipulando las sustancias citadas.

Residuos

Los gases se evacúan por la vitrina de gases del laboratorio. Los productos sólidos, como es el caso del ZnO y del

Zn sobrante se pueden tratar con ácido clorhídrico diluido y después añadir un poco de hidróxido de sodio o carbonato de sodio para situar el pH entre 6 y 8. A continuación se puede verter el residuo en un recipiente con arcillas sepiolíticas. Estas sustancias, de precio reducido, tienen una gran capacidad para absorber líquidos de manera que se puede eliminar el conjunto como residuo sólido convencional. Las cantidades de yodo y de estroncio empleadas en la experiencia son muy pequeñas con lo cuál su aparición en los residuos sólidos generados será muy reducida si se utiliza en cantidad suficiente el material absorbente ya mencionado. En todo caso nunca se debe descartar llevar los residuos al punto químico más próximo.

Aspectos educativos

Adquisición de competencias

Está claro que se desarrolla un poco la competencia lingüística por razones más que obvias. La competencia matemática se pone de manifiesto en el ajuste de la reacción (3) que parece ser la que mejor describe el proceso. A eso hay que añadir las habilidades aritméticas en los cálculos de masas de la reacción. La competencia en el conocimiento e interacción con el mundo físico se afianza de manera evidente como en cualquier experimento científico que se considere. El tratamiento de la información y la competencia digital se trabaja desde el momento en que se procese la experiencia en un soporte informático. A esto hay que añadir el tratamiento de textos, imágenes e incluso la elaboración de un vídeo sobre el experimento. La competencia social y ciudadana se adquiere al valorar la enorme incidencia de los experimentos científicos en la sociedad. En el proceso, altamente exotérmico, se puede obtener un provecho energético muy útil o bien un uso violento socialmente negativo. Finalmente hay que hablar también de la competencia cultural y artística. La experiencia genera humos, luz y fuego que pueden aplicarse a los efectos especiales de una película o bien a cualquier tipo de espectáculo artístico que requiera o haga uso de los susodichos efectos.

Contenidos

En alumnos de primer ciclo de ESO se pueden trabajar conceptos energéticos, aludiendo sobre todo a las transformaciones energéticas. Así se les puede cuestionar sobre la energía disponible en los reactivos (energía química) y sobre los tipos de energía que aparecen con los productos de reacción (energía lumínica, acústica, desprendimiento de calor, etc.). También se puede entrar en la comprobación del ajuste de la reacción aludiendo de forma elemental a la ley de Lavoisier. Otra cuestión sería el estudio de la mezcla de yodo y cloruro de estroncio de manera sencilla, considerando que el primero es insoluble en agua y que el segundo sí es soluble en agua. La sublimación del yodo es también un buen ejemplo de cambio de estado que pueden analizar con facilidad en la experiencia.

En alumnos de segundo ciclo de ESO se puede ya abordar el ajuste de la reacción por tanteo o bien por un sistema de ecuaciones. También es interesante la realización de cálculos sencillos con las masas e incluso con los moles de las distintas sustancias intervinientes. El concepto de catalizador se puede considerar al variar las cantidades de cloruro de amonio y observar cómo se

refleja ésto en la velocidad de la reacción. El estudio de la mezcla yodo + cloruro de estroncio se puede abordar con un poco más de precisión que en el primer ciclo de ESO ya que en el segundo ciclo conocen de forma sencilla los compuestos covalentes e iónicos. También es asequible para este nivel el denominado “ensayo a la llama”. Así, por ejemplo, deben reconocer que las sales de estroncio dan a la llama una coloración roja característica. En el caso del zinc el color es verdoso.

Los alumnos de Bachillerato pueden abordar el problema con una mayor complejidad. Se les pueden pedir cálculos termoquímicos y de reacciones redox. Al igualar la reacción (3) por el método ion-electrón se les debe hacer hincapié en que es una reacción en la cuál uno de los reactivos se oxida y también se reduce. El NH_4NO_3 sufre a la vez una oxidación y una reducción; el nitrógeno del catión NH_4^+ pasa del número de oxidación -3 al número de oxidación 0 del N_2 (oxidación); por otro lado, el nitrógeno del anión NO_3^- sufre una reducción al pasar de número de oxidación $+5$ a número de oxidación 0 en el N_2 . El otro reactivo, el zinc, se oxida al pasar de número de oxidación 0 a número de oxidación $+2$ en el ZnO .

También se puede preguntar a este tipo de alumnos por las posibles reacciones del yodo y el cloruro de estroncio, ($\text{I}_2 + \text{SrCl}_2 \rightarrow 2\text{ICl} + \text{Sr}$; $\text{I}_2 + \text{SrCl}_2 \rightarrow \text{SrI}_2 + \text{Cl}_2$) de manera que investiguen la espontaneidad o no espontaneidad de las mismas a partir de los potenciales estándar de reducción pertinentes. Del mismo modo sería interesante pedir a los alumnos que intenten describir el proceso redox entre el nitrato de amonio y el zinc considerando que los productos no son N_2 , ZnO y H_2O sino que el lugar del N_2 lo ocupan el NO o bien el NO_2 . Deben llegar, mediante el método ion-electrón, a las ecuaciones (4) y (5).

Conclusiones

De una forma sencilla se puede conseguir que una mezcla de sustancias sólidas genere una combustión espontánea espectacular y con un riesgo reducido. Es un proceso que no aparece descrito en la bibliografía al uso, a diferencia de procesos similares donde la combustión se inicia añadiendo sustancias en estado líquido. Además, se trata de una experiencia espectacular y sencilla de química que puede ser altamente motivadora para un variado espectro de alumnos y que desarrolla varias competencias a la vez que ilustra distintos contenidos del currículo de Física y Química de la ESO y del bachillerato.

Bibliografía

1. B. Z. Shkhashiri, *Chemical Demonstrations*, Vol 1, The University of Wisconsin Press, **1983**, 49–52.
2. M. T. Martín-Sánchez, M. Martín-Sánchez, *Trabajos experimentales en una clase de química de nivel elemental*, Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad de Salamanca, **1986**, 71–75.
3. T. Lister, *Experimentos de Química Clásica*, Editorial Síntesis, **2002**, 301 y 170–171.
4. M. T. Martín-Sánchez, M. Martín-Sánchez *Anales Quím.* **2002**, 98, 52–53.
5. F. I. Prada-Pérez de Azpeitia *Anales Quím.* **2012**, 108, 247–253.
6. R. J. Gillespie, D. A. Humpreys, C. N. Baird, E. A. Robinson *Química*, Vol 2, Editorial Reverté, **1990**, 882–883.
7. W. L. Masterton, E. L. Slowinski, C. L. Stanitski, *Química general superior*, Editorial McGraw-Hill, **1990**, 483.

IBERIAN MEETING ON RHEOLOGY



“Fundamental and Applied Rheology”

September 4-6, 2013



Conference Venue: Escuela de Ingenierías,
Campus Teatinos, 29071, University of Málaga



Organized by Grupo Español de Reología and
Sociedade Portuguesa de Reologia