

EVALUACIÓN DE UN MÉTODO PARA LA DESTRUCCIÓN DE SODIO METÁLICO CADUCO A ESCALA DE LABORATORIO

EVALUATION OF A METHOD FOR THE DESTRUCTION OF EXPIRED SODIUM METAL ON A LABORATORY SCALE

Yamell Jiménez-Prieto^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-3237-2100>
Guillermo Esperanza-Pérez¹ <https://orcid.org/0000-0003-3866-0859>
Surey Ramírez-González¹ <https://orcid.org/0000-0002-5900-5442>
Javier Martín-Santín¹ <https://orcid.org/0000-0003-2307-9551>
Juan A. Ribalta-Quesada¹ <https://orcid.org/0000-0001-7870-3863>

¹Centro de Estudios de Química Aplicada, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba

*Autor para correspondencia: yamelljp@uclv.edu.cu

Recibido: 5 de junio de 2024

Aprobado: 15 de julio de 2024

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó a escala de laboratorio, en condiciones de seguridad, un método para la destrucción de sodio metálico caduco. Para ello se estudió, en dos etapas, su reacción con etanol. Se investigó experimentalmente la variación de la temperatura del sistema de reacción en función de la velocidad de dosificación del sodio, la relación de la masa de etanol técnico-sodio en dependencia del por ciento en peso del etanol empleado, la cantidad de agua en la segunda etapa, y la velocidad de agitación. A partir de este estudio, se precisan los parámetros del método propuesto, que permiten darle tratamiento a este reactivo en obsolescencia. Finalmente, se realizó una caracterización elemental del residuo formado, proponiéndose varias alternativas para su manejo, destacando que más del 98 % del etanol utilizado en la primera etapa, se recupera por destilación, garantizando su reúso.

Palabras clave: etanol; residuos peligrosos; sodio metálico.

ABSTRACT

In the present work was to asses, on a laboratory scale, a method for the destruction of expired metallic sodium under safe conditions. For this, its reaction with ethanol was studied, which occurs in two stages. The variation of the temperature of the reaction system as a function of the sodium dosing rate, the mass ratio of technical ethanol/sodium depending on the weight percent of the ethanol used, the need for water in the second stage, and the stirring speed were experimentally investigated. From these tests, the parameters were obtained, to safely carry out the destruction of this metal. Finally, an elemental characterization of the waste formed was carried out, proposing several alternatives for its management, highlighting that more than 98 % of the ethanol used in the first stage is recovered by distillation, guaranteeing its reuse.

Keywords: ethanol; dangerous waste; metallic sodium.

INTRODUCCIÓN

Las sustancias químicas son ampliamente utilizadas en diferentes actividades educativas, de investigación, productivas y aplicaciones especiales de la vida moderna. Una de las consecuencias de su empleo es la generación de residuos, muchos de ellos con efectos nocivos y peligrosos para las personas y el medio ambiente en general.

Estos desechos se han venido incrementando gradualmente con el tiempo, debido a varios factores, que incluyen, fundamentalmente, el poco uso en laboratorios docentes y de investigación, y transformaciones en las técnicas o métodos de análisis, lo que ha provocado la obsolescencia, caducidad y el deterioro de muchas de ellas, incluidos sus envases, trayendo consigo riesgos en su almacenamiento y manipulación. Es por ello, que requieren de una adecuada atención, no solo por su diversidad, propiedades o cantidad, sino también por los potenciales peligros que encierran.

Un ejemplo de ello radica en el sodio metálico, sustancia química altamente inflamable, que posee riesgo de incendio y explosión, debido a que sus reacciones con el agua son fuertemente exotérmicas.^(1,2,3)

En la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, ubicada en la región central de Cuba, existen almacenadas cantidades significativas de reactivos químicos, catalogados como ociosos y caducos, siendo esta una de sus principales problemáticas ambientales. Una de estas sustancias es el sodio metálico, importado en la década de los 70’s desde la URSS y China, el cual se encuentra resguardado en varias de sus instalaciones docentes y centros de investigación. Su escasa utilización como reactivo, ha provocado su deterioro parcial, y el de los recipientes que lo contienen, convirtiéndose en un desecho caduco, tóxico y peligroso.^(4,5,6)

La presente investigación se genera a partir de una solicitud institucional, basada en un problema específico y puntual de nuestro centro docente, siendo financiada y ejecutada a partir de la aprobación de un proyecto de investigación-desarrollo. El objetivo principal de este trabajo fue evaluar, a escala de laboratorio, un método eficiente de gestión que garantizara la destrucción del sodio metálico obsoleto y caduco en condiciones de seguridad. La alternativa de tratamiento lograda se considera como novedosa, ya que existen escasos

antecedentes del empleo de la reacción química entre el sodio y el etanol para la gestión de desechos ociosos y caducos de este metal,^(7,8,9,10,11) siendo además sostenible y de bajo costo.

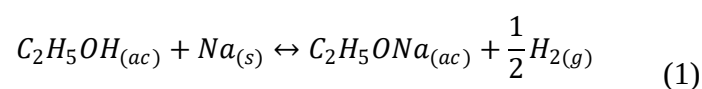
MATERIALES Y MÉTODOS

Para la selección del método de tratamiento, se tuvieron en cuenta las características de peligrosidad de la reacción química que ocurre, la disponibilidad de las materias primas y la gestión de los residuos generados.

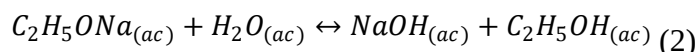
En este sentido, se aprovechó la capacidad del sodio metálico, de reaccionar completamente con el etanol, en proporciones adecuadas, y en condiciones experimentales seguras, bajo estricta supervisión, dado el carácter fuertemente exotérmico de la reacción y la generación de hidrógeno, gas inflamable y de carácter explosivo.^(7,8,9,10,11,12)

La reacción de este elemento químico con el alcohol etílico ocurre en dos etapas: (1) y (2)

En un primer momento, se produce la reacción exotérmica del sodio con el etanol, dando lugar a la formación de etóxido de sodio e hidrógeno.



En la segunda etapa, se hidroliza el etóxido de sodio formado, generándose hidróxido de sodio y etanol.^(13,14,15,16,17,18,19,20)



Los ensayos experimentales, se desarrollaron en laboratorios debidamente preparados para estudios de alto riesgo, del Centro de Estudios de Química Aplicada, entidad de investigación perteneciente a la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, en Cuba.

Los equipos y la cristalería utilizada para las determinaciones analíticas, se encuentran debidamente verificados por la Oficina Territorial de Normalización de la provincia.

En la [figura 1](#) se muestra una parte de las instalaciones, donde se realizaron los estudios en escalas de: 600 mL y 3 L. Las mismas están integradas por los siguientes elementos: criostato HAAKE-01, sistema de agitación IKA RW 45, reactor enchaquetado de vidrio borosilicado de tres

litros de capacidad, vaso de precipitado (800 mL), y termómetros para el control de la temperatura en el sistema de reacción y en el medio de enfriamiento.

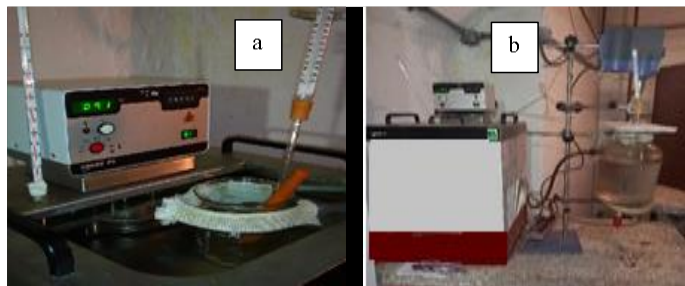


Fig. 1- Instalaciones experimentales en el CEQA. (a) Sistema de reacción de 600 mL; (b) Sistema de reacción de 3 L

Como reactivos, fueron utilizados: etanol clase C, grado técnico (90-91 % peso) proveniente de la refinera del Central Adela, ubicada en el municipio de Remedios, Villa Clara, y sodio metálico grado reactivo (99,5 % pureza), adquirido en la República Popular de China.

Estudio de la temperatura en el sistema y dosificación del sodio

Para determinar la temperatura que se alcanza en el sistema de reacción con enfriamiento inducido en función de la adición de sodio, se empleó un vaso de precipitado de 600 mL con 300 mL de etanol técnico al 91 % (p/p), el cual estaba sumergido en el baño del criostato (figura 1a). Una vez estabilizada la temperatura en ambos lados del sistema, se añadió gradualmente el sodio (1 g cada 10 min), y se registró el incremento de la misma. Se evaluaron cinco valores de temperatura de enfriamiento: 4, 8, 12 y 25 °C.

Precisión de la relación másica etanol técnico/sodio

En este caso, la reacción se llevó a cabo haciendo reaccionar 50 g de sodio en presencia de 500 mL de etanol comercial al 91% (p/p). Se empleó un vaso de precipitado de 1 L, que contenía el etanol sumergido en el baño del criostato a 12 °C, con agitación mecánica. El sodio se añade a razón de 5 g cada 10 min, durante 160 min de reacción. Para el seguimiento de la reacción, se toma una alícuota de 1 mL cada 10 min, determinándose por volumetría ácido-base la concentración del NaOH formado.

Escalado del proceso de reacción. Estudio de la agitación y el enfriamiento

Para estos estudios, se empleó un reactor enchaquetado de 3 L de capacidad (figura 1b), con

recirculación de agua del criostato a 12 °C. Se adicionaron 1 500 mL de etanol al 91 % (p/p), y se añadieron 300 g de sodio a razón de 10 g cada 10 min, garantizando una buena transferencia de masa y calor mediante agitación mecánica, usando un impelente de hélice a 300 rpm. Para el seguimiento de la reacción, se realizó el mismo procedimiento del epígrafe anterior.

Recuperación del etanol y caracterización del residuo formado

Se tomaron 1 000 mL de la mezcla de disolución alcohólica del hidróxido de sodio resultante de la reacción química, y se destiló empleando un equipo de destilación simple (fig. 2A). Una vez separado todo el etanol, se adicionaron 200 mL de agua al residuo semisólido obtenido en el balón de destilación (fig. 2B), facilitando así su extracción. Para su caracterización, se pipeteó 1 mL de la disolución del residuo hacia un matraz volumétrico de 1 000 mL, y se diluyó con agua destilada. Se caracterizó el residuo en función del pH, conductividad y la alcalinidad de la disolución.



Fig. 2- Equipo de destilación usado para recuperar el etanol (a) y residuo obtenido (b)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [tabla 1](#) se muestra un estudio de la temperatura inicial y final del proceso de reacción, que permitió, posteriormente, determinar la temperatura óptima de trabajo.

Tabla 1- Variación de la temperatura del sistema durante la reacción con dosificación regulada

Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Gradiente (°C)
4	15	11
8	27	15
12	32	20
25	65	40

Como se puede observar, cuando las escamas de sodio sólido comienzan a reaccionar con el etanol, se produce un incremento brusco de la temperatura del sistema, el cual alcanzó valores entre 11 y 40 °C, respectivamente, hasta que reacciona todo el sodio añadido. Este gradiente es proporcional a la temperatura inicial del sistema. Cuando la misma fue de 25 °C, después de haber añadido solo 2 g del sodio, el incremento fue significativo, hasta los 65 °C, valor cercano a la temperatura de ebullición del etanol (78 °C). Para determinar la relación másica etanol técnico/sodio y llevar a cabo la reacción de destrucción, sobre la base de los resultados obtenidos, se seleccionó como temperatura óptima de trabajo 12 °C.

En la [figura 3](#) se muestra la variación de la concentración de NaOH, formado durante la reacción en función del tiempo, para una temperatura inicial de 12 °C (igual a la del agua de enfriamiento). Para su seguimiento, se tomó una alícuota de 1 mL cada 5 min.

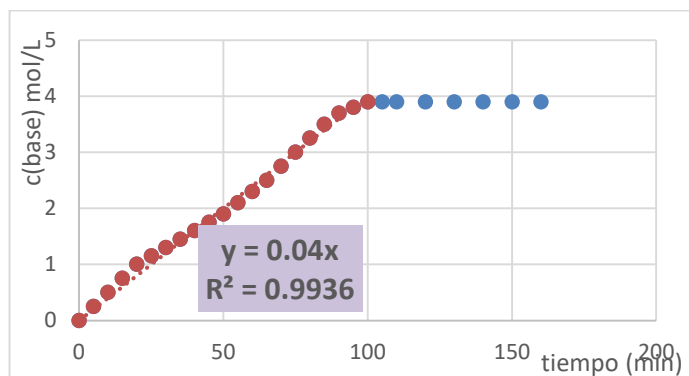


Fig. 3- Formación de NaOH vs tiempo durante la reacción sodio-etanol

Como se aprecia en la [figura 3](#), la velocidad de la reacción se comporta de manera lineal hasta aproximadamente los cien minutos. En una primera etapa (0-30 min), todo el sodio que se adiciona reacciona rápidamente antes que se añada la próxima dosis. A partir de los treinta y hasta los cien minutos, se observa un comportamiento diferente, pues se va acumulando sodio sin reaccionar en el sistema, apreciándose un aumento notable de la viscosidad de la fase líquida.

A partir de los cien minutos, no se observa formación de hidróxido, lo que está asociado a la ausencia de agua. En esta etapa, comienza a aparecer gradualmente un precipitado blanco que intensifica el color de la disolución, hasta los 160 min, cuando el sodio reaccionó completamente ([figura 4](#)).

La adición de 100 mL de agua provoca la desaparición del precipitado blanco.

Teniendo en cuenta las propiedades de las sustancias involucradas en la reacción, la aparición del precipitado blanco se debe a que se está en presencia de una disolución sobresaturada y densa de etóxido de sodio. Esto puede estar dado por el hecho de que, para que la reacción transcurra hasta el final (100 % conversión), y todo el sodio sea transformado en hidróxido de sodio, es importante garantizar un exceso de etanol, y que exista la cantidad de agua suficiente para que todo el etóxido de sodio obtenido en la primera etapa se hidrolice.

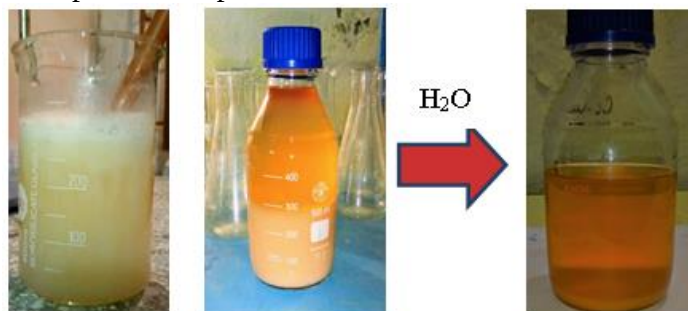


Fig. 4- Precipitación de etóxido de sodio y su reacción con el agua

En este sentido, se calculó la relación mínima (etanol técnico/sodio) que garantiza una reacción completa del sodio y la posterior conversión en hidróxido de sodio, sin tener que añadir agua a la reacción para cada por ciento de etanol comercial. En estos casos, se requiere mayor volumen de etanol técnico para que la reacción transcurra en una sola etapa. Es por ello, que es importante definir la cantidad de sodio para tratar y la calidad del etanol empleado.

Como resultado de la reacción, se obtiene una disolución hidroalcohólica concentrada de hidróxido y etóxido de sodio que, con el paso de los días, tiende a colorearse rojo pardo. Esta coloración está asociada a los productos de las reacciones de degradación espontánea del etóxido de sodio por acción de la luz, tornándose con el tiempo de un color rojo pardo fuerte. La destilación de esta disolución hidroalcohólica permite recuperar más del 98 % del etanol utilizado en la reacción. El hidróxido de sodio que queda como residuo, se valoriza mediante su empleo como agente desengrasante y desincrustante.

Estudios experimentales a escala de tres litros

Teniendo en cuenta los resultados positivos obtenidos en los experimentos anteriores, se decide estudiar el

comportamiento de la reacción a una escala superior, manteniendo como temperatura de trabajo 12 °C. Para ello, se usó un reactor enchaquetado de vidrio de tres litros de capacidad con recirculación del agua de enfriamiento (*figura 5*). Se adicionan 1 500 mL de etanol grado técnico al 91 % (p/p), y se añaden gradualmente 300 g de sodio (10 g cada 10 min) bajo agitación mecánica intensa a 500 rpm.



Fig. 5- Sistemas de reacción a escala de tres litros

La concentración de base se determinó por valoración ácido-base, pipeteando una alícuota de 1 mL cada diez minutos.

En la *figura 6* se muestra el comportamiento de la temperatura con el tiempo de reacción, pudiéndose observar que, durante los primeros cincuenta minutos de reacción, la temperatura en el reactor aumenta a medida que se adiciona el sodio metálico, hasta alcanzar aproximadamente los 27-28 °C. Durante los próximos cuarenta minutos, el sistema mostró una tendencia a la estabilidad, aun cuando se mantenía la adición del sodio metálico, lo que hace suponer que la velocidad de reacción en esta zona está controlada por fenómenos de transferencia de masa.

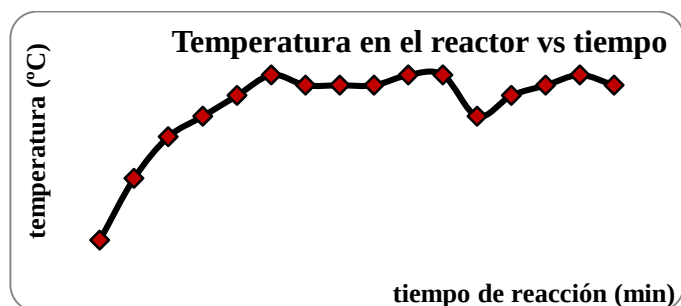


Fig. 6- Variación de la temperatura vs tiempo de reacción (escala 3 L)

Una vez alcanzados los cien minutos de reacción, la adición de 200 mL de agua provoca una caída de la temperatura del sistema hasta los 24 °C, la cual tiende a estabilizarse nuevamente a partir de los 110 minutos, hasta los 160 minutos, donde se consume todo el sodio añadido y concluye la reacción.

Caracterización del residuo obtenido de la recuperación del etanol

En la *tabla 2* se exponen los valores de los parámetros químicos determinados en el residuo durante la recuperación del etanol empleando destilación simple.

Tabla 2- Resultados de la caracterización de los residuos obtenidos

Parámetro	Unidad	Muestra de residuo	NC 27/2012
Conductividad	µs/cm	14 280	1 400-4 000
pH	U	12,30	6 - 9
Alcalinidad parcial	mg/L (CaCO ₃)	3 200	-
Alcalinidad total	mg/L (CaCO ₃)	3 500	-
Grasas o aceites	mg/L	< 5 mg/L	50

Tal y como se refleja en la tabla anterior, las muestras evaluadas de la disolución del residuo, poseen una elevada alcalinidad. Esto demuestra, que el residuo no puede ser dispuesto a un cuerpo receptor o sistema de alcantarillado, pues excepto las grasas y los hidrocarburos, el resto de los parámetros sobrepasa la NC 27/2012.

No obstante, considerando que el constituyente principal en la segunda etapa de la reacción resulta el hidróxido de sodio (NaOH), se sugirió su aprovechamiento como agente desengrasante. Para ello, se prepararon disoluciones del residuo de 40 a 50 % en masa de hidróxido de sodio. En este rango, fue aplicada en tareas de limpieza de tuberías colectoras de residuos en baños sanitarios de la beca universitaria, y en la cocina-comedor de la entidad.

Finalmente, se realizó un estudio para evaluar la viabilidad de la recuperación del residuo hidroalcohólico, cuyos resultados se muestran en la *tabla 3*. Los mismos demuestran que es posible recuperar cerca de un 98,8 % del etanol inicial.

El método de destrucción propuesto, contribuirá a reducir las existencias de sodio metálico en mal estado y sin valor de uso existentes en la entidad; así como a minimizar los peligros asociados a su almacenamiento. Otro aspecto a considerar es el bajo costo de operación, simplicidad del equipamiento, operación en condiciones de seguridad, reutilización de la mayor parte del etanol empleado en la reacción de destrucción, y el aprovechamiento económico del único residuo de la reacción; un concentrado de sosa (40-50 %), que puede ser empleado como producto alternativo de limpieza.

Tabla 3- Resultados de la recuperación de etanol vía destilación simple

	V(mL)	T (°C)	Vd (mL)	D(g/mL)	% etanol	M _{et} (g)	Masa (g)	Eas(g)	Re(%)
1	800	78-80	600	0,801	94,2	480,60	452,7		
2	900	78-80	630	0,799	95	503,37	478,2		
3	900	78-81	684	0,799	95	546,52	519,2	1 691,6	98,8
4	400	78-82	300	0,800	94,6	243,00	221,1		
total	3 000		2 214			1773,49	1 671,3		

Leyenda: Vd: volumen destilado (mL); M: masa etanol (100%) (g); Eas: etanol alimentado al sistema (g); D: densidad destilado (g/mL); Re: recuperación del etanol (%); Met: masa mezcla etanol (g)

CONCLUSIONES

A partir de la evaluación de los criterios analíticos y el control de varios parámetros que incluyen temperatura, relación etanol técnico-sodio, velocidad de agitación, dosificación de sodio y la cantidad de agua añadida; es posible destruir completamente a escala de laboratorio, la cantidad de sodio metálico añadida al sistema, en condiciones de elevada seguridad. Al mismo tiempo, el uso en formulaciones del hidróxido de sodio residual, como agente desincrustante, puede ser una alternativa para su gestión y valorización. La recuperación y utilización del 98,8 % del etanol usado en la reacción, minimizan los costos de operación asociados a esta alternativa de gestión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al profesor Lei Ye de la División de Bioquímica Pura y Aplicada de la Universidad de Lund, por facilitar el Polímero de Impresión Molecular. Al Laboratorio Universitario de Caracterización y Estructura de la Sustancia de la Universidad de La Habana (LUCES) por las mediciones SEM. La investigación que da origen a los resultados presentados en la presente publicación recibió fondos de la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales bajo el código PN223LH010-055.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ROGALA, M.; WESIERSKI, T. "Determination of assumptions for neutralization techniques and protection of metallic sodium residues in rescue operation conditions". *Zeszyty Naukowe, SGSP*. 2023, **88**(1): pp. 175-194.
<https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.1457>
<https://cubanadequimica.uo.edu.cu/index.php/cq>
 ISSN: 2224-4521

2. DAVID, L. *et al.* "A small scale experiment and a simplified model to investigate the runaway of sodium-water reaction". *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 2019, **144**, 118542. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118542> (hal-02095552).

3. WHITAKER, K. S.; WHITAKER, D. T. "Sodium Ethoxide" in: *Encyclopedia of Reagents for Organic Synthesis*. 1st Edition. New York. Wiley. 2001. Print ISBN: 9780471936237, online ISBN: 9780470842898, DOI: <https://doi.org/10.1002/047084289X.rs070>

4. CHEMICAL BOOK. Chemical Safety Data Sheet MSDS / SDS. *Sodium and Sodium ethoxide*. Last review: January 2025. https://www.chemicalbook.com/ProductIndex_EN.aspx

5. *Hazardous Substances Data Bank (HSDB)*. Last review: 18.01.2025 website: <https://toxnet.nlm.nih.gov/newtoxnet/hsdb.htm>

6. IPCS. *The International Chemical Safety Cards*, (last review): 04.11.2024. website: <http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.home>

7. LAKSHMANAN, A. R. *et al.* "A novel method of non-violent dissolution of sodium metal in a concentrated aqueous solution of Epsom salt". *Journal of Solid State Chemistry*, 2004, **177**(10): pp. 3460-3468, ISSN 0022-4596, <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2004.05.030>

8. BRAULT, A. *et al.* "Destruction of contaminated metallic sodium wastes by reaction on alcohol and hydrolysis". CEA, Centre d'Etudes Nucleaires de Fontenay-aux-Roses, 92 (France). Dept. de Protection. 1977, pp. 60-80. OIEA. Report number: [CEA-N--1955](https://www.cea.fr/cea-n-1955). Actualizado y revisado: diciembre 2024.

9. HERRMANN, S. *et al.* "Controlled Conversion of Sodium Metal from Nuclear Systems to Sodium Chloride", *JNFCWT*, 2021, **19**(2). 233-241. eISSN

- 2288-5471 / pISSN 1738-1894.
<https://doi.org/10.7733/jnfcwt.2021.19.2.233>
10. IAEA-TECDOC-1524. *Radioactive sodium waste treatment and conditioning*. IAEA, Vienna, 2007. pp. 36-44. ISBN 92-0-116006-2. ISSN 1011-4289. Printed by the IAEA in Austria, January 2007.
11. ROESKY, H. W. "A Facile and Environmentally Friendly Disposal of Sodium and Potassium with Water". *Inorg. Chem.* 2001, **40**(26): pp. 6855-6856. DOI: <https://doi.org/10.1021/ic010594m>
12. CHANDRAN, K. *et al.* "Synthesis and characterization of sodium alkoxides". *Bull Mater Sci.*, 2006, **29**, p. 173-179. <https://doi.org/10.1007/BF02704612>
13. CHANDRAN, K. *et al.* "Standard molar enthalpies of formation of sodium alkoxides", *J. Chem. Thermodynamics*, 2007, **39**(3): pp 449-454. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2006.07.024>
14. KESSLER, V.G. "Metal alkoxides as models for metal oxides-the concept revisited". *J. Sol-Gel Sci Technol.*, 2024, **112**: pp. 502-511. <https://doi.org/10.1007/s10971-024-06548-w>
15. BESKE, M.; TAPMEYER, L; SCHMIDT, M. "Crystal structure of sodium ethoxide (C₂H₅ONa), unravelled after 180 years", *Chemical communications*, 2020, **56**(24): pp. 3520-3523. <https://doi.org/10.1039/C9CC08907A>
16. GHARGE, M. S.; KAMBLE, V. M. "Synthesis and characterization of sodium alkoxide as organic reagent". *Journal of Emerging Technologies and*

- Innovative Research (JETIR)*. March 2021, **8**(3): pp. 2570-2575. ISSN-2349-5162. eISSN: 2349-5162.
17. BESKE, M. *et al.* "Disordered sodium alkoxides from powder data: crystal structures of sodium ethoxide, propoxide, butoxide and pentoxide, and some of their solvates". *Structural Science, Crystal Engineering and Materials*. 2021, **77**(Part 1): pp. 68-82. ISSN: 2052-5206. <https://doi.org/10.1107/S205252062001584X>
18. RANDRIANA, N. R.; RANDRIANOMENJANAHARY, A. M; RABEHARITSARA, A. T. "Sodium Ethoxide Concentrated Solution Synthesis at Ambient Temperature Using Sodium Hydroxide and Ethanol-90 in Excess". *World Journal of Applied Chemistry*, 2021, **6**(1): pp. 6-11. ISSN: 2637-5982. <https://doi.org/10.11648/j.wjac.20210601.12>
19. SHANDONG HUIHAI PHARMACEUTICAL & CHEMICAL Co. Ltd. "Preparation of metal alcoholates by converting hydroxy groups to O-metal groups" Denomination of invention: A preparation method of sodium ethoxide. Patent: [C07C29], R. P. China, Registration number: Y2021980013568, 2021-11-30.
20. DAVID, L.; MILANOVIC, M.; HERVE, P. *et al.* "Spectroscopic, pressure and temperature measurements of the reactant mixing process in sodium-water reaction". *Nuclear Eng. and Design*, 2020, **364**, 110638. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2020.110638>

DECLARACIÓN CONFLICTO DE INTERESES

No se declaran conflictos entre los autores

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

M.Sc. Yamell Jiménez Prieto: Investigación, metodología, redacción-revisión y edición; supervisión.

Dr. C. Guillermo Esperanza Pérez: conceptualización, investigación, redacción,-primera redacción, supervisión.

M.Sc. Surey Ramírez González: investigación, redacción -primera redacción.

M.Sc. Javier Martín Santín: conceptualización, Investigación, redacción y edición.

M.Sc. Juan Ribalta Quesada: conceptualización, metodología.