

Un método sencillo para analizar el porcentaje de bioetanol en la gasolina: el test de la probeta

A simple method to analyse the percentage of bioethanol in petrol: the graduated cylinder test

Fernando I. de Prada Pérez de Azpeitia

Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química (RSEF y RSEQ).

PALABRAS CLAVE:

Gasolina
Índice de octanos
Aditivos
Porcentaje de bioetanol
Test de la probeta

RESUMEN:

En el año 2018, entró en vigor en la Unión Europea un nuevo etiquetado para identificar los distintos tipos de gasolina, basado en el porcentaje de bioetanol en lugar del índice de octanos. Sin embargo, todavía sigue siendo muy desconocido, y después de varios años coexisten ambos sistemas de clasificación. La finalidad del artículo es, desde una perspectiva didáctica y divulgativa, dar a conocer el significado del nuevo sistema, identificar los principales aditivos que se añaden a la gasolina para mejorar sus propiedades y exponer un sencillo método (test de la probeta) para analizar, de forma rápida y aproximada, el porcentaje de etanol indicado en todos los surtidores de gasolina de las estaciones de servicio.

KEYWORDS:

Petrol
Octane number
Additives
Bioethanol percentage
Graduated cylinder test

ABSTRACT:

In 2018, new labelling was introduced in the European Union to identify the different types of petrol, based on the percentage of bioethanol instead of the octane number. However, it is still relatively unknown, and both classification systems continue to coexist. Stemming from a didactic and informative perspective, this article aims to illustrate the significance of the new system, identify the main additives that are included in petrol in order to improve its properties and present a simple method (the graduated cylinder test) of quickly and roughly analysing the percentage of ethanol indicated on all petrol pumps at service stations.

Introducción

La gasolina se puede considerar un fluido tan vital para la sociedad como el agua para los seres vivos. Sin ella, el mundo se detendría. En general, es bien conocido que la gasolina se obtiene del petróleo por destilación fraccionada, que está formada por una mezcla de cientos de hidrocarburos, que es un combustible fundamental en múltiples sectores (transporte, industrias, agricultura...) y que el octanaje es el índice utilizado para clasificarla. Pero lo que no es tan conocido es el sistema de etiquetado de la gasolina, que entró en vigor en la Unión Europea en 2018, basado en el porcentaje de bioetanol que contiene y que, a día de hoy, coexiste con el tradicional, basado en el índice de octanos.

Con el objetivo de dar a conocer el significado de este sistema de clasificación, a la vez que de formar a consumidores críticos y responsables con el medio ambiente, se exponen de forma divulgativa y didáctica contenidos relacionados con la química de las gasolinas, entre ellos: principales aditivos que se añaden para mejorar sus propiedades, diferencias entre los tipos de gasolina y un test rápido para analizar el porcentaje de bioetanol indicado en las etiquetas de los surtidores de gasolina de las estaciones de servicio.

Con todo ello, se pretende poner en relieve la importancia de la química en la elaboración de combustibles (esenciales para la red mundial de transporte y el progreso de la sociedad moderna) y el interés en producir combustibles cada vez más respetuosos con el medio ambiente. Tanto la química verde como la Unión Europea comparten los objetivos de aumentar la implantación de materias primas renovables y reducir el impacto de los productos químicos en el medio ambiente y la salud.

De los octanos al porcentaje de bioetanol

En 1927, para clasificar a las gasolinas, se estableció una escala arbitraria denominada índice de octano (octanaje), que toma como referencia dos hidrocarburos puros: el n-heptano y el isoctano (2,2,4-trimetilpentano). Al alcano n-heptano, que durante su combustión causa una alta detonación (combustión prematura y explosiva de la mezcla de aire-combustible que puede dañar el motor), se le asignó un octanaje de cero, mientras que al isoctano, un combustible de baja detonación (antidetonante), que retrasa la combustión para que se produzca de forma muy suave, se le asignó un octanaje de 100. La razón por la que se eligió el hidrocarburo ramificado en lugar del n-octano, se encuentra en que los isómeros ramificados generalmente presentan fuerzas intermoleculares más intensas que

CÓMO CITAR: F. Prada. An. Quím. RSEQ 2025, 121, 324-330, <https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2031>

los de cadena lineal. De hecho, las fuerzas de dispersión de London son mayores en el isoctano que en el n-octano. Esto hace que provoque menos detonación (combustión más suave) que su isómero lineal, el n-octano, responsable de combustiones mucho más explosivas, con un índice de octano incluso negativo (-20).

De esta forma, una gasolina de 95 octanos equivale a una mezcla que contiene 95 % de isoctano y 5 % de n-heptano. Y la de 98 octanos, equivale a una mezcla con el 98 % de isoctano y el 2 % de n-heptano. A mayor octanaje, mayor capacidad de resistencia a la detonación y mayor rendimiento en motores de alta compresión y altas prestaciones. Algunos automóviles deportivos y vehículos de competición (Formula 1, motoGP), utilizan gasolinas especiales que presentan propiedades antidetonantes superiores al índice 100 de octano, debido a que contienen mayor porcentaje de compuestos oxigenados (alcoholes, éteres...) que las gasolinas convencionales.

Para determinar el índice de octano de las gasolinas se emplean dos sistemas diferentes, que analizan el comportamiento de la gasolina en un motor de prueba, pero en condiciones ligeramente distintas:

- R.O.N. (Research Octane Number) o número de octano de investigación: en viajes urbanos, a bajas revoluciones, con muchas pausas y aceleraciones.
- M.O.N. (Motor Octane Number) o número de octano del motor: cuando se conduce por carretera, de forma regular, a altas revoluciones y sin muchas interrupciones

En Europa, los distribuidores de gasolina generalmente utilizan el RON. En otros países, como Estados Unidos y Canadá, utilizan un promedio de ambos valores o PON (Pump Octane Number), a veces denominado AKI (Índice de Antidetonación: Anti Knock Index).

Los principales hidrocarburos de la gasolina no tienen el octanaje suficiente para el óptimo funcionamiento de los motores de combustión; es necesario aumentarlo. Con esta finalidad, durante el siglo XX se añadieron a la gasolina aditivos que contenían plomo, como el tetraetilo de plomo, de fórmula $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4\text{Pb}$. Pero este compuesto, al ser expulsado junto a los gases de escape presentaba problemas de toxicidad: el plomo se acumula en los seres vivos, afectando gravemente al sistema nervioso. Además, dañaba los catalizadores, al recubrir (envenenar) sus centros activos, mermando la reducción de los gases contaminantes expulsados por el tubo de escape. A partir de 1975, los compuestos de plomo fueron eliminados gradualmente como aditivos de la gasolina. Hasta que en 2001, la UE aprobó una normativa para retirar del mercado las gasolinas con plomo y prohibir su venta.^[1] Solo se autoriza su uso en coches antiguos certificados como clásicos o históricos.

Los aditivos con plomo fueron sustituidos por éteres, como el etil terc-butil éter (ETBE), con un octanaje de 120, y el metil terc-butil éter (MTBE), con un octanaje de 119 (Fig. 1). Estos compuestos oxigenados, además de aumentar el octanaje, mejoran la eficacia de la combustión, disminuyen la corrosión y reducen las emisiones de monóxido de carbono, ozono y óxidos de nitrógeno.^[2]

El inconveniente de añadir MTBE a la gasolina es que si se filtra desde los tanques de almacenamiento subterráneos, dada su solubilidad y a la dificultad en biodegradarse, puede llegar a contaminar las aguas subterráneas. Por esta razón, en algunos países (EEUU, Canadá, Japón...) su uso está prohibido como aditivo y ha sido sustituido por el ETBE, de menor solubilidad y más fácil de retirar en caso de derrame.^[3]

Otro compuesto oxigenado que se añade a las gasolinas es el bioetanol anhidro. El objetivo es, además de aumentar el

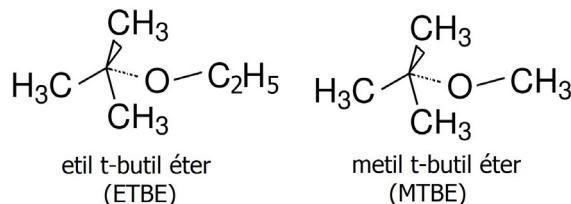


Figura 1. Fórmulas de los aditivos oxigenados ETBE y MTBE.

octanaje (índice RON superior a 120) y mejorar la combustión, reducir la emisión de gases contaminantes y de efecto invernadero.^[4] De esta forma se contribuye a alcanzar los objetivos marcados por la Unión Europea: disminuir la dependencia de combustibles fósiles, aumentar el de recursos renovables y conseguir combustibles cada vez más respetuosos con el medio ambiente. Por ende, según la Directiva de la Unión Europea 2014/94/UE, desde el año 2018 entró en vigor en Europa el nuevo etiquetado para las gasolinas, basado en el porcentaje de bioetanol añadido, en lugar del octanaje (Fig. 2). Para cumplir con esta normativa, todas las gasolinas deben etiquetarse con un círculo con la letra E en su interior, que hace referencia a su contenido en etanol, seguida de un número que corresponde al porcentaje máximo que puede contener: E5 (máximo 5% V), E10 (máximo 10% V) y E85 (máximo 85% V).^[5]

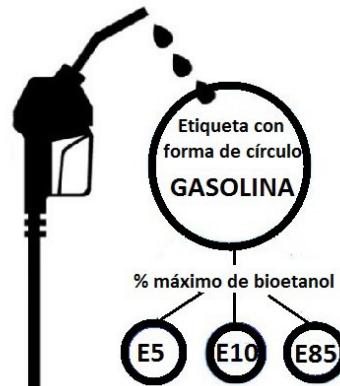


Figura 2. Etiquetado basado en el porcentaje de bioetanol.

Los motores de los vehículos de gasolina fabricados a partir del año 2000, pueden funcionar sin problemas con la gasolina E10. Para porcentajes superiores al 15 % de etanol, los motores tienen que ser adaptados. En Brasil, por ejemplo, actualmente el 90 % de las ventas de vehículos nuevos son de combustible flexible (FFV: Vehículos Flux Fuel) que pueden funcionar con gasolina o con cualquier mezcla de bioetanol y gasolina. En este mismo país, cuna del bioetanol como combustible, los empleados de las gasolineras (a petición del consumidor) están obligados a realizar el test de la probeta para determinar la cantidad de etanol anhidro de la gasolina que expenden. Se considera un fraude el exceso de etanol en la gasolina, debido a que se traduce en una pérdida de eficiencia energética, es decir, se recorren menos kilómetros por litro de combustible. En España, las estaciones de servicio de diversas autonomías, entre ellas la Comunidad de Madrid,^[6] están obligadas a realizar un test también conocido como "prueba de la probeta", pero en este caso se realiza con un matraz de 10,0 L y con otro objetivo: comprobar que la cantidad servida de combustible es la misma que la indicada por el surtido y verificar que está calibrado correctamente.

En la actualidad, el índice de octano sigue siendo la forma general de clasificar a las gasolinas, combinado con el porcentaje de bioetanol. Entre ambos sistemas no hay equivalencia: el octanaje es una propiedad físico-química relacionada con la resistencia de la gasolina a la detonación y el código E es una referencia al porcentaje de bioetanol. Así, las gasolinas de 95 y de 98 octanos pueden ser tanto E5 como E10.

Generalmente, las estaciones de servicio en España distribuyen gasolina E5, de 95 y de 98 octanos (Fig. 3), pero ni la E10 ni la E85, a diferencia de otros países europeos que sí lo hacen, como Francia, Suecia, Finlandia, Alemania... La razón principal es que, en estos países, el bioetanol paga menos impuestos que la gasolina.^[7] Al contrario que en España, donde la fiscalidad con la que se grava al bioetanol es superior a la de la gasolina. Se da la paradoja de que cuanto más renovable sea la gasolina más alta es la fiscalidad, lo que desincentiva a las petroleras españolas a comercializar mezclas con mayor porcentaje de bioetanol. Según la Asociación Española de Bioetanol, el valor medio del porcentaje de bioetanol en las gasolinas E5 durante el año 2024 fue del 2,9 %, habiendo aumentado un 0,1 % respecto al 2023.^[8]



Figura 3. Etiquetado basado en el porcentaje de bioetanol. Etiquetado de las gasolinas basado en el índice de octanos y en el porcentaje de bioetanol.

El etanol procedente de la fermentación anaeróbica de materias primas que contienen glucidos de origen vegetal (maíz, trigo, remolacha, caña de azúcar...) se denomina bioetanol de primera generación. Cuando resulta de la fermentación de biomasa lignocelulósica (residuos de la industria agroalimentaria y celulósica, maderas...) se denomina bioetanol de segunda generación. Durante la fermentación alcohólica no se obtiene etanol anhidro, sino hidratado, con un porcentaje de agua sobre el 5 %. Para utilizarlo como combustible es necesario reducir el agua al máximo, hasta una pureza próxima al 99,5 %. Para ello se emplean diferentes técnicas de deshidratación: destilación azeotrópica, adsorción por tamices moleculares, etc.

Pero no todo son ventajas. El etanol utilizado como combustible presenta ciertos inconvenientes. Por un lado, su poder calorífico (26,9 MJ/kg) es inferior al de la gasolina (43,5 MJ/kg). Por tanto, su adición al combustible aumenta el consumo. Por otro lado, si su porcentaje es elevado, durante la combustión se forman productos con efecto corrosivo sobre las partes metálicas del motor (carburador, válvulas), juntas de caucho y tanque de almacenamiento.

¿Son iguales todas las gasolinas?

Como España no cuenta con pozos petrolíferos propios, para abastecerse de combustible necesita importarlo desde países productores que cuentan con yacimientos y pozos petrolíferos

(Estados Unidos, México, Brasil, Nigeria, Irak, etc.). Al llegar el petróleo a la península, generalmente por vía marítima, se reparte entre las instalaciones de las ocho refinerías situadas estratégicamente (Cádiz, Bilbao, Cartagena, Algeciras, Coruña, Huelva, Puerto Llano y Tarragona), que pertenecen a diferentes operadores con capacidad de refino, como Repsol, Moeve (antigua CEPSA) y BP. Una vez refinado, el producto se distribuye a través de oleoductos hasta los tanques de las compañías logísticas, principalmente a la multinacional Exolum (antigua CLH), encargada de almacenar, transportar y distribuir los combustibles por toda España. Desde los grandes depósitos de los centros logísticos, los mayoristas y operadores independientes, cargan el combustible en camiones cisterna para repartirlo entre la red de estaciones de servicio, donde se pone a la venta a los consumidores (Fig. 4). Todas las gasolineras de una misma región, independientemente de la marca, se abastecen de los mismos depósitos y ofrecen el mismo producto básico.

La compañía distribuidora Exolum tiene que garantizar por ley unos mínimos estandarizados de calidad, de forma que los combustibles que salen de sus instalaciones pueden ser utilizados directamente sin ningún añadido especial. En Madrid, la gasolina procede principalmente de dos de sus instalaciones (Torrejón de Ardoz y Villaverde), donde se inyecta el bioetanol en la propia línea de carga de las gasolinas para evitar que absorba humedad, dado su carácter higroscópico, lo cual perjudicaría a los motores. En cuanto al bioetanol, en España la mayoría procede de la productora Vertex Bioenergy, que cuenta con plantas localizadas en Salamanca, Murcia y Galicia.

A petición de los mayoristas, la distribuidora Exolum agrega a los combustibles aditivos básicos de fórmula no revelada, como HQ300 (para gas oil) y HQ400 (para gasolinas), en cantidades muy pequeñas, sobre 100-200 ppm (1-2 litros por cada 10.000 litros de combustible). Por otro lado, las propias marcas de gasolina desarrollan sus aditivos multifuncionales, con el fin de mejorar las propiedades de los carburantes y, con ello, el rendimiento, limpieza y durabilidad de los motores. Estos aditivos extra se añaden al cargar el combustible en el camión cisterna o bien al llenar los tanques de la gasolinera.

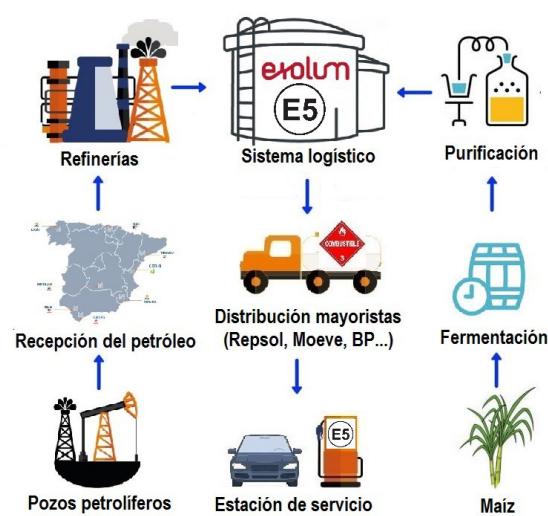


Figura 4. Etapas en la producción de gasolina con bioetanol. Infografía basada en la Ref. [9].

Los aditivos multifuncionales que añaden las petroleras, y los que se pueden encontrar en el mercado, contienen productos con diferentes propiedades, como las siguientes:

- Inhibidores de la corrosión: protegen los elementos metálicos de la oxidación y reducen la acumulación de residuos, por ejemplo, ácidos aril sulfónicos, ácidos alquil ortofósforicos y sales de amina de ácidos alquenil succínicos.
- Antioxidantes: retardan la oxidación de los componentes, por ejemplo, fenilendiaminas y fenoles, diaminas aromáticas y alquilfenol.
- Antiemulsionantes: evitan la formación de emulsiones en el caso de que se introduzca agua accidentalmente.
- Detergentes: mantienen limpios los sistemas de inyección y la cámara de combustión, por ejemplo, polibutenamina, polisobutilenamina y polieteramina.

Respecto a la calidad de las gasolinas, se pueden encontrar tres categorías diferentes:

- *Low cost*: gasolina que cumple con los mínimos estandarizados de calidad (como Ballenoil, Petroprix y Alcampo).
- Normal: fórmula que añade aditivos propios de cada marca para mejorar la calidad del carburante.
- *Premium*: versión de alta gama con aditivos específicos para motores de alto rendimiento.

Los tres tipos de gasolina contienen los mismos compuestos básicos y en las mismas proporciones. La única diferencia entre una gasolina *low cost* y otra de diferente categoría se encuentra en los aditivos que incorporan los mayoristas, como confirman análisis realizados por el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Barcelona.^[10]

Análisis del porcentaje de bioetanol en la gasolina: test de la probeta

En los laboratorios y en la industria química, para recuperar y separar compuestos orgánicos se utiliza una técnica de extracción líquido-líquido, basada en la diferente solubilidad de un soluto en dos fases inmiscibles, que se transfiere de una fase líquida a otra. Por otro lado, para determinar el porcentaje de etanol que contiene un combustible se emplean técnicas analíticas instrumentales, como cromatografía de gases o espectroscopía IR.^[11,12] Los métodos de extracción y análisis, se pueden unificar y simplificar mediante el test de la probeta: método de campo que consiste en extraer el bioetanol de la gasolina, medir directamente su volumen y obtener, de forma rápida, el porcentaje en volumen.^[13]

Nivel educativo y objetivos de aprendizaje

El test de la probeta está recomendado para estudiantes de bachillerato, que es el nivel donde se incluyen todos los contenidos necesarios para comprender el fundamento químico del proceso de la extracción y en el que ya deberían tener cierta práctica en el trabajo de laboratorio.

Los principales objetivos se indican a continuación:

- Identificar el carácter polar de las moléculas presentes en la gasolina y sus interacciones con las moléculas de agua.
- Aplicar adecuadamente un método de separación para extraer el bioetanol de la gasolina.
- Determinar el volumen de bioetanol en la gasolina utilizando correctamente material volumétrico.
- Calcular el porcentaje de bioetanol presente en la gasolina.
- Analizar los factores de error que influyen en el resultado.
- Aprender a gestionar los residuos generados.
- Valorar positivamente la contribución de la química en conseguir un desarrollo sostenible.

Fundamento teórico

La molécula de agua está formada por átomos con electronegatividades muy diferentes (2,2 el hidrógeno y 3,2 el oxígeno, en la escala de Pauling). Esta diferencia genera una carga negativa parcial en el oxígeno y cargas positivas parciales en los hidrógenos. Como la geometría de la molécula de agua no es lineal, los momentos dipolares no se anulan lo que le otorga a la molécula de agua su carácter polar. La presencia de átomos de oxígeno unidos a hidrógenos favorece la formación de 4 enlaces por puente de hidrógeno: dos como donador y dos como receptor.

Las moléculas de los hidrocarburos (alifáticos y aromáticos) que forman parte de la gasolina están formadas por átomos de carbono e hidrógeno. Como la diferencia de electronegatividad entre ellos es de 0,5, en la escala citada, se consideran moléculas apolares; solo existen débiles interacciones temporales debido a fuerzas de dispersión de London (dipolo instantáneo-dipolo inducido). Al no tener estas moléculas átomos de oxígeno unidos a carbonos, no hay enlaces de hidrógeno, son muy poco solubles e inmiscibles en agua.

En el caso de la molécula de etanol, por un lado, contiene un extremo polar (-OH) hidrofílico y soluble en agua y, por otro, un extremo apolar (C_2H_5) soluble en disolventes apolares como la gasolina. Esta clase de moléculas que tienen una zona polar y otra apolar, se denominan anfipáticas o anfíflicas. (Fig. 5). Debido a la posibilidad de formar dos enlaces por puente de hidrógeno (uno como donador y otro como receptor), y a su corta cadena, el etanol es miscible y soluble en agua en todas proporciones. Además, al igual que entre las moléculas de agua, existen otras interacciones de menor intensidad, como las fuerzas dipolo-dipolo inducido y las de dispersión de London.

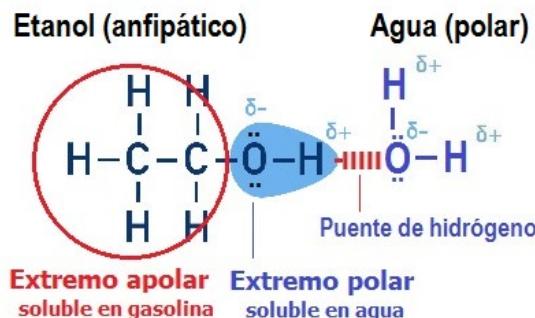


Figura 5. Representación del enlace por puente de hidrógeno entre la molécula de etanol y la molécula de agua (fórmulas desarrolladas).

La transferencia del etanol de la gasolina al agua se debe a que las fuerzas intermoleculares entre las moléculas de etanol y las de agua (fundamentalmente enlaces por puente de hidrógeno) son mayores que las fuerzas intermoleculares entre las moléculas de etanol y las de los hidrocarburos de la gasolina (fuerzas dipolo-dipolo inducido y dipolo instantáneo-dipolo inducido).

La adición de cloruro de sodio al agua para formar una disolución salina concentrada tiene como objetivo aumentar la polaridad de la fase acuosa y, por ende, favorecer la extracción del etanol. Además, la pequeña solubilidad de los hidrocarburos aromáticos en agua disminuye en la disolución salina, por lo que se considera insignificante su transferencia a la fase acuosa.

Reactivos y materiales

Gasolinas E5 y E15, agua (no es necesario que sea destilada), cloruro de sodio, dos probetas de 100 mL (una de ellas con tapón esmerilado), vaso de precipitados de 250 mL, embudo de decantación, guantes de nitrilo o de gasolinera (polietileno) y gafas de seguridad.

La gasolina E15 analizada en el ejemplo aquí propuesto (marca Shell) procede de la estación de servicio situada en Las Tablas (Madrid), la única localizada que suministra una gasolina con mayor porcentaje de bioetanol que la E5. Si se desea realizar el test de la probeta en gasolinas con un porcentaje semejante a la E15 o superior, teniendo en cuenta su dificultad en encontrarlas, se pueden preparar en el laboratorio añadiendo alcohol sanitario de 96° (solución de etanol al 96 % V) a la gasolina E5.

Al adquirir la gasolina en una estación de servicio no se debe transportar en cualquier envase. Para garantizar la seguridad, desde el año 2017 (Real Decreto 706/2017) es obligatorio hacerlo en bidones homologados (Etiqueta UN1202-UN1203), que tienen que estar disponibles en las tiendas de todas las gasolineras.

Procedimiento experimental

A. Análisis de una gasolina E5 (Marca Repsol)

- Colocarse los guantes y las gafas de seguridad.
- Disolver dos cucharaditas de sal común (≈ 15 g) en un vaso de precipitados con 100 mL de agua para preparar una disolución salina concentrada (no es necesario un % específico).
- Introducir 50 mL de la disolución salina en una probeta de 100 mL.
- Introducir 50 mL de gasolina de clase E5 a una probeta con tapón, limpia y seca, de 100 mL.
- Verter la disolución salina en la probeta con gasolina. Al ser ambas disoluciones inmiscibles, se formarán dos fases.
- Tapar la probeta y voltearla sobre quince veces para que se mezclen bien las moléculas y así completar la extracción del etanol de la fase acuosa (Fig. 6). Se debe evitar agitar la mezcla con una varilla de vidrio y con la probeta abierta. Dada la alta volatilidad del combustible se evaporarían algunos mililitros, afectando al resultado final.

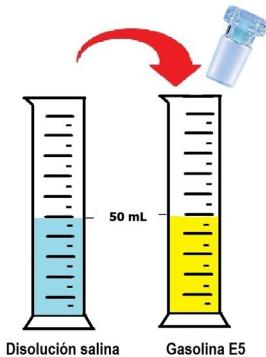


Figura 6. Volúmenes iniciales de la disolución salina y de la orgánica.

- Dejar reposar la mezcla unos 15 minutos hasta completar la separación de las dos fases: la orgánica, en la parte superior por su menor densidad, y la acuosa debajo.
- Anotar el volumen final de la fase acuosa, que vendrá definido por la línea marcada por la interfase.

En el caso de que se quiera evitar el contacto directo de los estudiantes con el combustible, el docente puede realizar la extracción del bioetanol y ser ellos los que tomen las medidas del volumen y calculen el porcentaje. O bien, se les puede proporcionar imágenes, como las de las figuras 7 y 8.

Discusión y resultados

El volumen de la fase acuosa aumenta de 50 mL (V_i) a 52 mL (V_f), como se observa en la figura 7, debido a la transferencia de 2 mL de bioetanol que se encontraba disuelto en la gasolina. Por tanto, se puede considerar que el incremento en el volumen (ΔV) de la fase acuosa es igual al volumen de bioetanol extraído de la gasolina:

$$\Delta V = V_{final} - V_{inicial} = 52 \text{ mL} - 50 \text{ mL} = 2 \text{ mL} = V_{bioetanol}$$

A partir del incremento de volumen se obtiene el porcentaje de etanol en la gasolina analizada:

$$\% \text{ bioetanol} = \left(\frac{V_{bioetanol}}{V_{inicial \text{ gasolina}}} \right) 100 = \left(\frac{2 \text{ mL}}{50 \text{ mL}} \right) \cdot 100 = 4 \%$$

Como resultado, esta gasolina contiene un 4 % en volumen de bioetanol. Porcentaje que estaría de acuerdo con el indicado en la etiqueta: 5 % máximo de bioetanol.

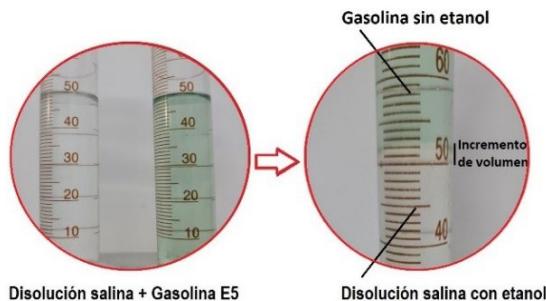


Figura 7. Volúmenes iniciales (disolución salina/ y gasolina E5) y volumen final de la fase acuosa.

B. Análisis de una gasolina E15 (Marca Shell)

Repetir el mismo procedimiento para la gasolina E15.

En este caso, se observa que el volumen de la fase acuosa aumenta de 50 mL hasta 60 mL después de realizar la mezcla con la gasolina. Resultando un incremento en el volumen de 10 mL, como se observa en la figura 8.

$$\Delta V = V_{final} - V_{inicial} = 60 \text{ mL} - 50 \text{ mL} = 10 \text{ mL} = V_{bioetanol}$$

$$\% \text{ bioetanol} = \left(\frac{V_{bioetanol}}{V_{inicial \text{ gasolina}}} \right) 100 = \left(\frac{10 \text{ mL}}{50 \text{ mL}} \right) 100 = 20 \%$$

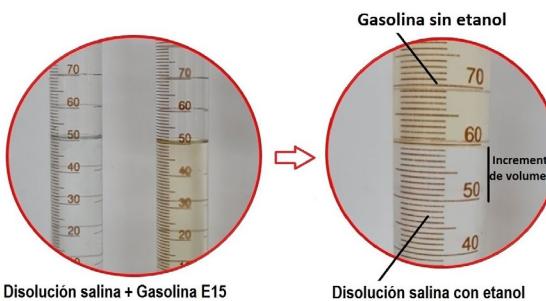


Figura 8. Volúmenes iniciales (disolución salina y gasolina E15) y volumen final de la fase acuosa.

Como conclusión, la gasolina E15 analizada contiene un 20 % de bioetanol, porcentaje superior al mínimo del 15 % indicado en la etiqueta del surtidor de la estación de servicio.

Factores que influyen en el resultado

La principal fuente de error del test de la probeta se encuentra en la sensibilidad del instrumento utilizado para medir el volumen, como ya se indicó anteriormente. El error de precisión (o tolerancia) que aparece indicado en la probeta utilizada coincide con el volumen que puede apreciar; ± 1 mL. Aunque se repita muchas veces la medida, no se podrá mejorar su precisión ni el resultado final. Por tanto, este método es útil para una estimación rápida del bioetanol en la gasolina, siempre y cuando el porcentaje no sea muy bajo, en dicho caso la fiabilidad del test se reduce. Otros factores que influyen en la precisión de la medida son: medir incorrectamente el volumen debido al error de paralaje y/o de lectura del menisco, no agitar la mezcla el tiempo suficiente para extraer todo el alcohol y no dejar reposar las fases el tiempo suficiente para que se separen.

Es importante tener en cuenta que los porcentajes de etanol etiquetados en las gasolinas no son valores exactos, solo son una base de referencia que indica no superar un valor determinado. Además, este porcentaje no siempre es el mismo, puede modificarse por la petrolera según la zona o la época del año. Por tanto, al no conocerse el valor real no es posible evaluar la exactitud del resultado obtenido.

Otras consideraciones

Si bien las masas son aditivas, no ocurre lo mismo con los volúmenes. Así, por ejemplo, al mezclar agua y etanol el volumen final no es igual a la suma de los volúmenes iniciales, sino que se reduce. Esto se debe a que los grupos OH del etanol forman puentes de hidrógeno con la molécula polar del agua. A esto se une que se produce un mayor empaquetamiento intermolecular, dado la diferencia entre el tamaño y la forma de ambas moléculas, lo que acorta la distancia entre las moléculas y deja menos espacio libre. A 25 °C, la contracción máxima de volumen ocurre cuando el porcentaje de etanol es del 50 % V (Fig. 9). En el caso de disoluciones muy diluidas, se puede considerar no significativa la disminución del volumen de la mezcla, teniendo en cuenta además la tolerancia de la probeta.

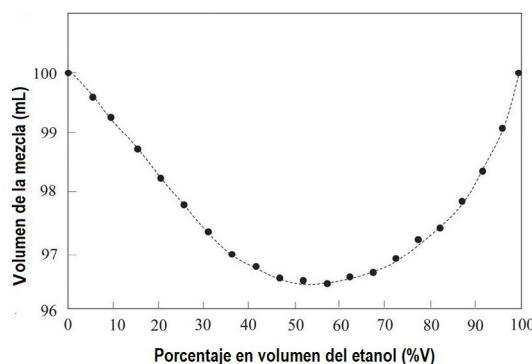


Figura 9. Disminución del volumen de la mezcla de agua-ethanol en función del porcentaje de etanol, a 25°C. Reproducida de la Ref. [14].

Por otra parte, en las fichas técnicas de las gasolinas analizadas se indica que la cantidad máxima del antidetonante ETBE que contiene es inferior al 22 % V.^[15] Teniendo en cuenta que su densidad es 0,743 g/mL y la solubilidad en agua 2,3 g/L, en los 50 mL de agua podrá haber como máximo 0,15 mL de

ETBE. Este volumen se puede considerar despreciable frente al incremento del volumen de la fase acuosa debido a la extracción del etanol.

Normas de seguridad y gestión de residuos

La práctica puede ser realizada por el docente o, si lo considera adecuado, por estudiantes de bachillerato bajo supervisión directa y cumpliendo las normas de seguridad indicadas. Como la gasolina desprende vapores inflamables, la zona de trabajo debe estar bien ventilada y sin fuentes de ignición cerca, tener a mano un extintor y una bolsa de material absorbente, por ejemplo, sepiolita (material utilizado como arena de gatos), por si se produce algún derrame accidental. Este mineral se caracteriza por su estructura cristalina microporosa y gran capacidad de absorción. Por esta propiedad, es utilizada como absorbente industrial y para absorber derrames de combustible y aceite en gasolineras, carreteras y circuitos de carreras.

Finalizada la práctica, y para gestionar los residuos de forma respetuosa con el medio ambiente, conviene separar la mezcla inmiscible con un embudo de decantación. La fase acuosa recogida contiene un bajo contenido en etanol, no es peligrosa y puede ir al desagüe. Sin embargo, la fase con gasolina debe gestionarse como un residuo especial. Aunque los puntos limpios no recogen combustibles líquidos, sí lo hacen cuando van embebidos en un material absorbente, como la sepiolita. De esta forma, el residuo de gasolina se verterá en un vaso de precipitados lleno de sepiolita para que sea absorbida (Fig. 10) y, posteriormente, llevada a un punto limpio para su tratamiento.

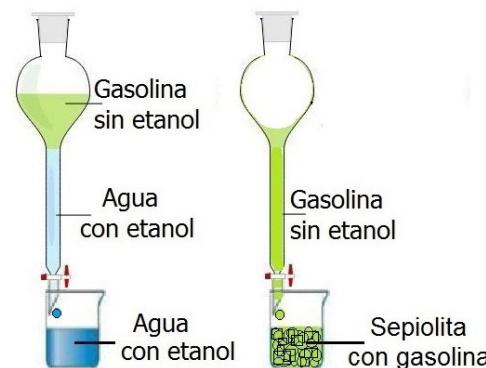


Figura 10. Separación de los residuos para su gestión ambiental (fuente: autor).

Conclusiones

El análisis de un producto como la gasolina, fundamental para el desarrollo y funcionamiento de la sociedad en todo el planeta, permite de forma práctica mejorar la comprensión de contenidos teóricos de química fundamental, entre otros los relacionados con la polaridad de las moléculas y las fuerzas intermoleculares. Además, es un buen ejemplo para reconocer las aplicaciones de la química al desarrollo de la sociedad y en el cuidado del medio ambiente, teniendo en cuenta que los combustibles que incluyen bioetanol contribuyen a reducir el consumo de combustibles fósiles y, por ende, a disminuir las emisiones de gases que incrementan el efecto invernadero.

Respecto al etiquetado de la gasolina basado en el porcentaje de bioetanol, realmente no proporciona al consumidor el valor real, solo una referencia. De hecho, en España el porcentaje medio en la gasolina E5 no supera el 3 % de bioetanol. Aún más, es casi imposible encontrar estaciones de servicio que suministren gasolina con mayor porcentaje de biocombustible

(E10 o E85), lo que no ayuda a cumplir los objetivos vinculantes previstos por la UE para el año 2030 respecto al aumento en la cuota de biocarburantes.^[16]

Bibliografía

- [1] Real Decreto 785/2001, de 6 de julio, por el que se adelanta la prohibición de comercialización de las gasolinas con plomo y se establecen las especificaciones de las gasolinas que sustituirán a aquéllas, *BOE* 7 jul. **2001**, (162), disponible en <https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/07/06/785> (consultado: 15/07/2025).
- [2] G. Sobarsah, N. Nuryoto, J. Jayanudin, *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi* **2021**, 17, 150-157, <https://doi.org/10.36055/tjst.v17i2.11989>.
- [3] K.F. Yee, A.R. Mohamed, S.H. Tan, *Renew Sustain Energy Review* **2013**, 22, 604-620, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.016>.
- [4] J. Torres, D. Molina, C. Pinto, F. Rueda, *Cienc., Tecnol. Futuro* **2002**, 2(3), 71-82, <https://doi.org/10.29047/01225383.539>.
- [5] Combustibles. Identificación de la compatibilidad de los vehículos. Expresión gráfica para la información al consumidor, UNE-EN 16942:2025, AENOR, Madrid, **2025**.
- [6] Decreto 147/1998, de 27 de agosto, de protección de los derechos de los consumidores y usuarios en el servicio de suministro de gasolinas y gasoleos de automoción en instalaciones de venta al público, *BOCM* 4 sep. **1998**, (210), 3-9.
- [7] A. Barrero F., *Energías renovables* **2022**, 214, 62-63, disponible en <https://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/Revista686.pdf> (consultado: 15/07/2025).
- [8] Asociación Española de Bioetanol, "Bioetanol", disponible en <https://bio-e.es/bioetanol/>, **2025** (consultado 10/04/2025).
- [9] "¿De dónde procede el combustible de Plenoil?" disponible en <https://plenergy.es/de-donde-procede-el-combustible-de-plenoil/>, 19 abr. **2023**, (consultado: 15/07/2025).
- [10] I. Haro, "Analizan una gasolina 'low cost' y otra normal y el resultado es sorprendente", disponible en <https://periodismodemotor.com/analizan-unagasolina-low-cost-y-otra-normal-y-elresultado-es-sorprendente/337545/>, 9 abr. **2022** (consultado: 15/07/2025).
- [11] L.S. Moreira, L.A. Dávila, D.A. Acevedo, *Chromatographia* **2003**, 58, 501-505, <https://doi.org/10.1365/s10337-003-0065-z>.
- [12] G.E. Fodor, K.B. Kohl, R.L. Mason, *Anal. Chem.* **1996**, 68(1), 23-30, <https://doi.org/10.1021/ac9507294>.
- [13] "Cartilhado do Posto Revendedor de Combustíveis", disponible en <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/cartilhas-eguias/cartilha-do-posto-revendedor-de-combustiveis>, **2020** (consultado: 15/07/2025).
- [14] I. N. Levine, *Fisicoquímica*, McGraw-Hill, España, **2004**, 1 (9), 304.
- [15] "Repsol Efitec 95 Neotech", disponible en https://www.repsol.es/content/dam/imagescommerce/particulares/vehiculos/gasolinaneotech/ficha_producto_Efitec_95Neotech_tcm19-51090.pdf (consultado 15/05/2025).
- [16] Reglamento Delegado (UE) 2023/1640 de la Comisión de 5 de junio de 2023 relativo a la metodología para determinar la cuota de biocarburantes y biogás para el transporte producidos a partir de biomasa procesada junto a combustibles fósiles en un proceso común, *Diario Oficial de la Unión Europea* 18 ago. **2023**, (L205), 1-7.



Fernando I. de Prada Pérez de Azpeitia

Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química (RSEQ y RSEQ)
C: fernando.pradaperez@educa.madrid.org
ORCID: 0000-0002-4897-2082

Profesor de Física y Química en la Comunidad de Madrid y miembro del GEDH (RSEQ/RSEF) y de la DEDF (RSEF). Participa de forma activa en eventos de divulgación científica: Feria Madrid es Ciencia, Ciencia en Acción, *El Pati de la Ciència* (Universidad de Alicante), ConCienciar (Círculo de Bellas Artes de Madrid), Jornadas de Divulgadores de Ciencia (DDD), etc. Entre sus colaboraciones se encuentran instituciones y empresas como: Aula Mentor (MEFPD), Centro de Innovación y Formación del Profesorado de la Comunidad de Madrid (CTIF), RSEQ, RSEF, Grupo Editorial SM, Museo Nacional del Prado y Parque de Atracciones de Madrid.

1ST MEDITERRANEAN ELECTROCHEMISTRY SCHOOL

01/25/2026 19:00

Cristina García Rodero Museum

Organized by the Electrochemistry Divisions of the Società Chimica Italiana (SCI), the Société Chimique de France (SCF) and the Real Sociedad Española de Química (RSEQ)

