



## RASTREO DE COMBUSTIBLES MEDIANTE TÉCNICAS NUCLEARES

F. Monroy-Guzmán  
ININ, Km 36.5 Carretera México-Toluca 52045 Edo. de México.  
E mail: fmg@nuclear.inin.mx

### Resumen

El robo de combustibles en México, es un problema de magnitudes económicas importante, que exige la colaboración de medios técnicos, administrativos y judiciales para su solución. El presente escrito propone el uso de trazadores en los combustibles, para poder identificarlos, cuando ya han sido sustraídos ilícitamente. Técnicas nucleares de análisis, permiten determinar la presencia del trazador, utilizando tan sólo unos cuantos mL de combustible. Se describe, la selección del trazador y la correspondiente técnica de análisis.

### 1. INTRODUCCIÓN

En México el transporte de petrolíferos generados por Petróleos Mexicanos (PEMEX), utiliza autotanques para abastecer todos los centros de consumo del país. La alta incidencia de robos hacia estas unidades, durante el transporte de dichos materiales hacia sus centros de consumo, han causado pérdidas millonarias por a la institución [1]. Es sido posible rastrear los productos robados y a sus infractores, sin embargo, legalmente es indispensable poseer pruebas analíticas sobre el origen de los materiales, que permitan a las autoridades sancionar y frenar este tipo de ilícitos. La problemática se centra en probar que los productos sustraídos pertenecen a PEMEX y no a los infractores. ¿Pero, cómo diferenciar un producto cuyo origen “supuesto”, es el mismo, y cuya única diferencia ha sido su transferencia de un autotaque a otro tanque o recipiente de almacenamiento?. El presente documento propone la utilización de un trazador de petrolíferos, gasolina o diesel, que pueda ser identificado, en el caso que estos combustibles hayan sido sustraídos irregularmente durante su distribución a los centros de consumo [2].

### 2. METODOLOGÍA

La metodología propuesta es la siguiente: (1) introducción de un trazador, contenido en un dispositivo especial dentro de los autotanques. Este dispositivo sólo permite la descarga del trazador hacia el combustible contenido en las pipas, sólo si éste es manipulado irregularmente. El ilícito es confirmado, sin importar cuando haya sido incautado el material, mediante el análisis de una pequeña muestra de combustible por la técnica de activación neutrónica. La muestra es irradiada mediante neutrones térmicos, y el radioisótopo formado (trazador) identificado mediante espectrometría gamma. La presencia o ausencia del trazador radiactivo confirmará el ilícito cometido. La irradiación de muestras puede ser realizada en el reactor nuclear Trigar Mark III del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), o mediante fuentes de neutrones portátiles, del tipo Am/Be, que puede ser instaladas en diferentes zonas [2,3].



El análisis por activación neutrónica permite cuantificar concentraciones elementales de hasta  $10^{-14}$  g, sin interferencias por la presencia de otros elementos, y requiere tan solo unos cuantos miligramos de muestra [2].

### 2.1 Selección del trazador

El trazador de combustibles debe cumplir con los siguientes requisitos: (1) no estar presente en el combustible (2) no modificar las propiedades intrínsecas de los combustibles, (3) minimizar al máximo el gasto económico por la adición del trazador, (4) al adicionarlo estar en concentraciones menores al  $10^{-9}$  g/L, (5) soluble en hidrocarburos. Desde el punto de vista de la activación neutrónica las restricciones son las siguientes: (1) Vida media del radioisótopo formado, menor de un día y mayor a 30 minutos, (2) elemento de  $Z > 11$ .

De acuerdo a las restricciones enumeradas anteriormente se descartó el uso de sustancias orgánicas como trazadores, dado que los combustibles están formados principalmente por hidrocarburos [3], y resulta poco factible su uso, pues las interferencias entre los diferentes componentes exigen el uso de técnicas de separación previas a las cuantificaciones y los elementos ligeros H, O, C, N, S, no son identificados por la técnica de Análisis por activación neutrónica. Se acotó entonces al uso de compuesto inorgánico.

Fueron pre-seleccionados 4 elementos naturales (ver tabla 1) como posibles candidatos para ser utilizados en el trazado de combustibles. La Tabla 1 presenta las características nucleares de los radioisótopos formados durante la activación. La selección definitiva del elemento trazador fue definida analizando gasolinas y diesel mediante activación neutrónica para conocer su composición [2].

ELEMENTOS	REACCION	RADIOISOTOPO FORMADO	VIDA MEDIA	COMPUESTO
BROMO	$^{79}\text{Br}(n,\gamma)^{80}\text{Br}$	$^{80}\text{Br}$	17.68 min	Bromobenceno
CLORO	$^{37}\text{Cl}(n,\gamma)^{38}\text{Cl}$	$^{38}\text{Cl}$	37.24 min	Clorobutano
YODO	$^{128}\text{I}(n,\gamma)^{128}\text{I}$	$^{128}\text{I}$	24.99 min	$\text{I}_2$
MAGNESIO	$^{37}\text{Mg}(n,\gamma)^{38}\text{Mg}$	$^{38}\text{Mg}$	37.24 min	$\text{MgCl}_2$

Tabla 1. Trazadores tentativos de ser utilizados como trazadores de combustibles [2].

### 2.2 Análisis de gasolinas y diesel

Se realizó un análisis cualitativo de dos tipos de gasolinas (MAGNA-SIN y PREMIUM) diesel disponibles en México, y posteriormente. Las gasolinas y el diesel fueron irradiados con un flujo de neutrones de  $6.25 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>s, en el reactor nuclear Triga Mark III del ININ, por 5 minutos. Las muestras fueron cuantificadas en un espectrómetro gamma, provisto de un detector semiconductor de germanio hiperpuro [2].

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de estos combustibles muestran (ver tabla 2) que todos contienen aluminio, bromo, cloro, manganeso y sodio; únicamente la gasolina Magna-sin presenta calcio, titanio y magnesio.

De acuerdo a estos resultados el yodo es el único elemento que no se encuentra en los combustibles y por tanto su presencia indica el ilícito cometido [2]. Adicionalmente el yodo puede ayudar a mejorar la velocidad de combustión de los motores [4], o pueden formar parte de un aditivo que mejore la calidad de la gasolina.

ELEMENTO	Al	Br	Ca	Cl	Mg	Mn	Na	Ti
Magna - Sin	X	X	X	X	X	X	X	X
Premium	X	X		X		X	X	
Diesel	X	X		X		X	X	

Tabla 1. Composiciones cualitativas de gasolinas y diesel

El yodo puede ser incorporado en forma de organo-halogenados (yodobenceno, yodobutano, etc) que pueden ser adicionados directamente al combustible o bien el yodo disuelto en éter, alcohol, o algún compuesto aromático [2,5,6], para facilitar la disolución del trazador en el combustible transferido. Desde el punto de vista de salud y del medio ambiente, los compuestos aromáticos y parafínicos halogenados, son en general más tóxicos que sus homólogos libres de halógenos, por lo que, en particular, nos pronunciamos por el uso de yodo disuelto en un solvente como el alcohol etílico. Las ventajas de disolver yodo en alcohol son las siguientes: el alcohol es miscible en la mayor parte de los hidrocarburos, es un recurso renovable, fácilmente degradable en el medio ambiente, sin aparentes impactos a la salud, y forma parte de las sustancias oxigenantes de las nuevas gasolinas reformuladas, que reducen las emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos, óxido de nitrógeno, partículas finas, etc. [2, 8,9].

Por otra parte, si consideramos que el trazador adicionado a los combustibles para su rastreo, será incorporado en muy bajas concentraciones ( $<10^{-6}$  g) y únicamente en el caso de ser transferidos los carburantes ilegalmente, por tanto, los riesgos por contaminación, o posibles modificaciones de las propiedades de los combustibles, a causa de éstos, serán despreciables.

### 3. CONCLUSIONES [2]

El uso de trazadores radioactivos en el rastreo o identificación de productos petrolíferos, como la gasolina y el diesel, permitirán a PEMEX, empresa encargada de su distribución, frenar el alto índice de robos que han venido sufriendo durante la transportación de estos combustibles.

El mecanismo de rastreo propuesto en este trabajo, está basado en la incorporación al combustible de una sustancia inactiva (trazador) que será transferida al combustible mediante un dispositivo especial, únicamente si éste ha sido descargado ilegalmente. Las determinaciones son hechas en muestras discretas de combustible, que pueden ser transferidas al ININ, sin importar de donde vengan y cuando hayan sido incautadas. Estas muestras serán irradiadas mediante neutrones térmicos y el radioisótopo formado, será identificado por espectroscopía gamma.



El yodo ha sido elegido como trazador de estos combustibles, dadas sus características químicas y nucleares: (a) vida media lo suficientemente corta (24.99 min), para permitir su identificación rápida, disminuyendo los costos de irradiación, (b) emisión de un rayo gamma de 442 keV , que lo hacen fácilmente detectable por espectroscopía gamma, (c) es soluble en alcoholes, éteres y compuestos aromáticos, formando con éstos complejos estable y (f) no se encuentra presente en las gasolinas y diesel analizados.

La incorporación de yodo en las gasolinas y diesel utilizando de una solución yodo-etanol es conveniente , puesto que el etanol ha mostrado ser un excelente oxigenante de gasolinas, reduciéndose las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos a la atmósfera .

Futuras investigaciones sobre las condiciones de carga y descarga de los combustibles en los autotankers de transporte, darán pauta para diseñar un dispositivo fácil de instalar, activar y desactivar, y cuyas características propias produzcan una mezcla homogénea entre el trazador y el combustible .

## REFERENCIAS

- Monroy Guzmán, F. "Rastreo de combustibles a partir de la irradiación de trazadores". *Ingeniería Petrolera*, 55-60, julio 2004.
- Estrada, D.C. PEMEX y el reto del combate al mercado negro de combustibles. Sección Negocios p. 4ª. Reforma, 4 marzo del 2004.
- Monroy Guzmán, F. Determinación de elementos contaminantes de petróleo por Fluorescencia de Rayos-X. Tesis de Ingeniería Química, Facultad de Química, UNAM, 1991.
- Organic Iodine compounds, *Chem. Rews.* 66, 243, 1966.
- Currie, L.A., *Anal. Chem.* 40(3), 586-593, 1968.
- Keeper, R. M. And Andrews, J.J., *J. Am. Chem. Soc.*, 3567-3563, 1953.
- Henschler, E., *Angew. Chem. Int. Ed. Engli.*, 33, 1920-1935, 1994.
- Vaughn, E., *Chemistry & Industry*, 368, 3 may 1999.
- Armstrong, S. R., Ethanol : Brief report on its use in gasoline. Cambridge Environmental Inc. 58, Charles St. Cambridge MA 02141. March 2, 1999.