

# Predicción de parámetros de seguridad en combustible de aviación en fase gas\*



MARÍA PAZ GÓMEZ CARRACEDO  
*Licenciada en Ciencias Químicas.  
Departamento de Química Analítica  
de la Universidad de A Coruña*

## SUMARIO

*El queroseno es un producto peligroso usado como combustible de aviación a reacción, como combustibles de calentamiento industriales o domésticos, etc. En condiciones normales de almacenamiento, manipulación y uso no presenta un riesgo para la salud, pero en el caso concreto de la exposición ocupacional a combustibles de aviación, ésta se produce en la fabricación y distribución. Por esta razón tratamos de desarrollar dos métodos –uno empleando una celda de gases (sistema complejo) y otro empleando una celda de cuarzo (sistema simple)– para predecir seis de las propiedades del queroseno importantes para su seguridad de manipulación (punto de deflagración, punto inicial de destilación, 10 por ciento de destilación, punto final de destilación, porcentaje de aromáticos y viscosidad) mediante FTIR, obteniendo mejores resultados que los métodos «clásicos», salvo para la viscosidad. El método simple obtiene mejores resultados que el complejo.*

**Palabras clave:** Queroseno aviación, fabricación, distribución, riesgos salud.

## INTRODUCCIÓN

El queroseno es uno de los productos obtenidos del refinado del petróleo que más destacan por su aplicación como combustible en la aviación a reacción y, en menor medida, como combustible de calentamiento industrial o doméstico, como componentes de insecticidas, productos de limpieza, pesticidas, etc. Se obtiene por medio de destilación del crudo de petróleo, siendo una fracción intermedia entre la gasolina y el gasóleo (como se muestra en la Figura 1). Al obtenerse por destilación atmosférica del

\* Este artículo es el resumen del trabajo presentado a la Fundación MAPFRE como resultado final de la investigación desarrollada durante el año 2001 a raíz de una beca concedida por la Fundación en la convocatoria 2000-2001.

crudo de petróleo, su composición química depende de la naturaleza de los crudos de petróleo derivados de los procesos de refinación. Se compone de mezclas complejas de hidrocarburos alifáticos y aromáticos con 9 a 16 átomos de carbono predominantemente (1-9).

## RIESGOS EN EL USO DEL QUEROSENO

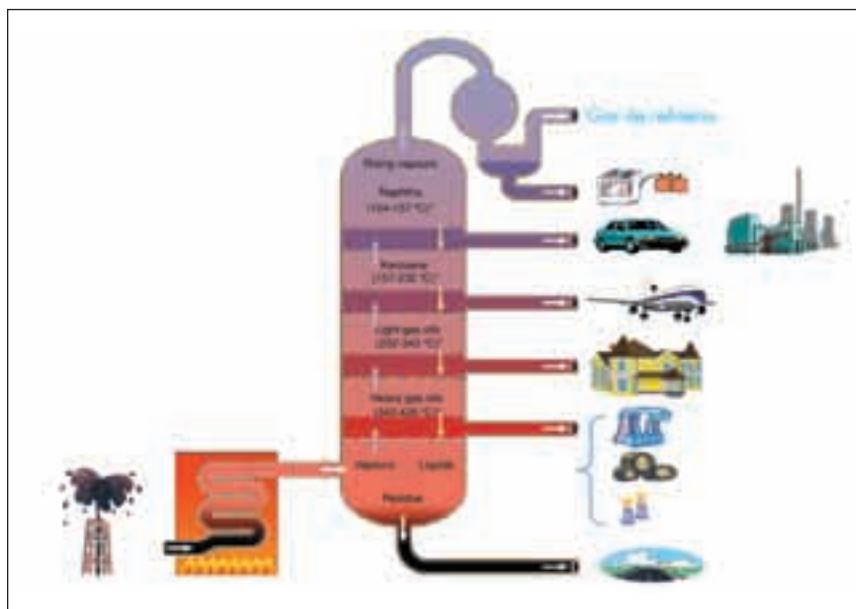
### Explosiones

Las normas de la NFPA (Asociación Nacional de Protección contra el Fuego), de Estados Unidos clasifican a los líquidos en inflamables (punto de inflamación menor a 38 °C, pueden inflamarse a temperatura ambiente) y combustibles (punto de inflamación superior a 38 °C, requieren calentamiento previo para incendiarse). El queroseno es un producto combustible peligroso, ya que cuando se inflama se quema rápidamente (lo cual puede ocurrir especialmente en presencia de chispas provenientes de la acumulación de electricidad estática). La inflamación se producirá siempre tras una evaporación más o menos rápida, en la cual se genera un vapor que puede incendiarse y quemarse en presencia de aire, dando lugar a una explosión violenta (10, 1).

Debido al uso comercial del producto y su peligrosidad asociada, así como a los riesgos para la salud durante la exposición a queroseno, se ha considerado importante desarrollar nuevos procedimientos de análisis para evaluar la calidad de este combustible (que usan todas las aeronaves del transporte aéreo). Las principales características de calidad vienen definidas a nivel internacional por las especificaciones del British Ministry of Defence (11). Algunos de los parámetros analíticos allí definidos se suelen considerar como los «más importantes» en la valoración rutinaria de la calidad de los querosenos. Éstos son: punto inicial de destilación, punto final de destilación, pérdida de destilación, punto de congelación, conductividad, acidez total, contenido en olefinas, punto de humo, índice de separación de agua, punto de deflagración y densidad. En el presente trabajo se abordarán seis parámetros especialmente importantes en las operaciones de manipulación del queroseno. Estas variables son:

- Punto de deflagración (*flash point*, según el método Abel). Es la temperatura mínima a la que el producto líquido produce vapores en concentracio-

**FIGURA 1. Principales productos obtenidos por destilación del crudo de petróleo, entre ellos el queroseno.**



nes tales que pueden inflamarse en contacto con una fuente de ignición (llama, chispas, etc.). Cuanto menor sea el punto de inflamación de un producto, más inflamable y por esto, más peligroso será éste.

- Punto inicial de destilación (10 por ciento de destilación y punto final de destilación). Salvo productos que tienen cierto grado de pureza (hexano, tolueno o xileno), los distintos derivados del petróleo son mezclas de hidrocarburos que no presentan un

punto de ebullición definido, sino un rango de destilación más o menos amplio, de acuerdo a la especificación de cada producto. A grandes rasgos, a menor punto inicial de destilación corresponde una mayor volatilidad del producto (producto ligero), y, por lo tanto, un mayor riesgo, tanto desde el punto de vista de incendio como de generación de vapores tóxicos. Otra medida de la volatilidad es la presión de vapor, siendo el producto tanto más peligroso cuanto mayor sea ésta.

- Porcentaje de aromáticos. Se suele emplear este parámetro para evaluar la existencia de fracciones «pesadas» o hidrocarburos insaturados en el queroseno. Es una medida de «pureza».

- Viscosidad. Es la medida de la resistencia del líquido a fluir sobre presión, generada por gravedad o una fuente mecánica. También se relaciona con la composición del producto: a menor viscosidad, mayor contenido de fracciones ligeras.

En condiciones industriales normales de almacenamiento, manipulación y uso, los querosenos no presentan un riesgo para la salud. Pero en el caso concreto de la exposición ocupacional a los combustibles de aviación, ésta se produce en el trabajo de fabricación y distribución de queroseno (desde producción y operaciones relacionadas con la refinación a la distribución de los productos) (12), fabricación de productos formulados que contienen queroseno (agentes de limpieza, desengrasado, pinturas, barnices, herbicidas, insecticidas y pestici-

*El queroseno es un producto combustible peligroso, ya que cuando se inflama se quema rápidamente (lo cual puede ocurrir especialmente en presencia de chispas provenientes de la acumulación de electricidad estática).*

das) y en el uso industrial de productos formulados (13).

Además de la seguridad del pasaje durante el transcurso del vuelo, se debe tener en cuenta la seguridad en las etapas de trasiego de los camiones cisterna al tanque de almacenaje del aeropuerto y, por supuesto, en el trasiego interno de las refinerías. En la figura 2 se muestra un mapa de los oleoductos existentes, de las refinerías y de los aeropuertos existentes en España, que podría servir para establecer las zonas de «máximo riesgo».

**FIGURA 2. Mapa de oleoductos (14).**



La distribución al tanque de almacenamiento del aeropuerto, habitualmente no es directa, ya que incluye una o más etapas intermedias de almacenamiento (terminales), como se observa en la figura 3. Después del almacenamiento en los tanques del aeropuerto, se puede dispensar al avión haciendo uso de: sistema «boca de riego» o sistema de repostaje por manguera, camión repostador o equipo distribuidor. El sistema «boca de

riego» se usa en la mayoría de los grandes aeropuertos comerciales. En este sistema, los tanques de almacenamiento se conectan a cada puerta de embarque mediante una red de conductos. La unidad «boca de riego» usa pequeños camiones equipados con equipo de filtración y de medida de volumen para llenar de combustible el avión. El equipo distribuidor de combustible (dispensador) y el camión de repostaje se usan en aeropuertos pequeños. Los camiones de repostaje llevan el combustible a los

aviones en tanques propios (Fig. 4). El dispensador es una bomba de localización fija diseñada específicamente para combustibles de aviación.

### Implicaciones para la salud

En el caso concreto del uso de queroseno como combustible de aviación, el personal de pista de los aeropuertos se encuentra expuesto a inhala-

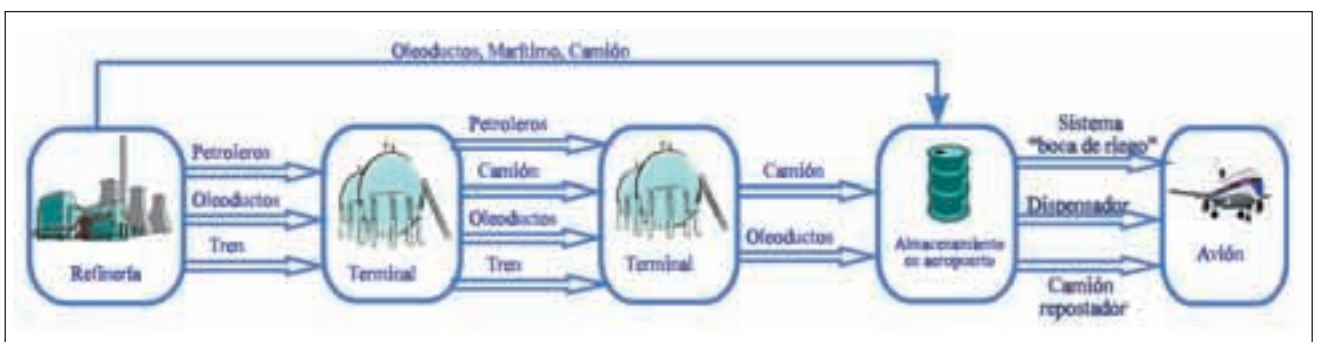
ción de vapores y humos, tanto de restos de combustible como de productos de combustión, algo que incide directamente sobre su seguridad y salud.

Existen tres rutas de exposición al queroseno: contacto, ingestión e inhalación. El contacto repetido o prolongado con el queroseno puede causar irritación de la piel, eritema, ampollas, enrojecimiento, hinchazón y quemazón e incluso dermatitis (Fig. 5) (15).

La ingestión de querosenos no se suele encontrar en el uso industrial de los productos, aunque hay muchos casos de ingestión accidental de queroseno por niños en accidentes domésticos. Aunque el queroseno es de baja toxicidad oral, el vómito es una reacción común a su ingestión, y esto produce un riesgo de aspiración del líquido a los pulmones. La ingestión puede también causar irritación de los labios, del tracto gastrointestinal, diarrea, tos, neumonía, somnolencia, intranquilidad, irritabilidad, convulsiones, coma e incluso la muerte (17-18).

En el rango normal de temperaturas ambientales, la presión de vapor del queroseno es demasiado baja para acumular concentraciones significativas de vapor. Sin embargo, la combinación de espacios cerrados y elevada temperatura puede dar lugar a concentraciones elevadas de vapor de queroseno. Además, las aplicaciones en *spray* de productos que contienen queroseno, al ser una mezcla de vapor y aerosol, pueden causar irritación del tracto respiratorio (2). La exposición crónica a queroseno puede causar disfunción renal, hepática, neurológica, pulmonar (19-21); disfunción emocional, electroencefalogramas anormales, pérdida de atención y disminución de la velocidad sensitivo-motora (22-25); dolores de cabeza, náuseas, confusión, ataxia, mala articulación en el habla (26); vértigo, dificultades en el equilibrio, cansancio general, anorexia y dificultades en la concentración (17); visión borrosa,

**FIGURA 3. Sistema de distribución del combustible para turbinas de combustión.**



somnolencia, confusión y desorientación. Una exposición excesiva puede causar daños en el sistema nervioso central produciendo depresión respiratoria, temblores o convulsiones, pérdida de consciencia, coma o muerte (27-28). Algunos estudios realizados en ratones han demostrado que puede causar fibrosis pulmonar intersticial, pero en humanos no se ha demostrado (3).

En la bibliografía consultada no se han encontrado estudios que relacionen todos estos síntomas y enfermedades con componentes específicos del queroseno (p. ej., octano, benceno, etc.), aunque parece lógico pensar que los efectos «del producto» se deban a sus componentes individuales.

### ESTUDIO EXPERIMENTAL

Llegado este punto, podría surgir la cuestión de por qué desarrollar nuevos métodos analíticos «alternativos» si ya existen métodos oficiales recogidos en las guías internacionales (ver, p. ej., DERD 2494, 1999). La respuesta comprende diversas razones, entre las cuales se destacan varias:

a) *Económica.* En este trabajo se desarrolla un método de análisis que sólo exige un proceso experimental. Por contra, cada uno de los procedimientos clásicos u «oficiales» exige el uso de un proceso analítico empleando un equipo analítico, diferente. Además, el costo del equipo que se propone aquí es moderado para los laboratorios del ámbito petroquímico.

b) *Simplicidad y rapidez.* Es evidente que si sólo debe llevarse a cabo un proceso experimental de medida, la calidad del producto se podrá conocer más rápidamente. Si a ello se une que el protocolo de trabajo propuesto es sencillo, la rapidez se asocia con la menor incidencia de errores.

c) *Personal.* El personal no sólo puede reducir su carga de trabajo, sino que libera tiempo de trabajo manual para emplearlo en el estudio de los datos que determinan la calidad del producto.

d) *Información.* La metodología que aquí se propone aporta más información que cualquiera de los métodos «oficiales» por separado, ya que es una forma relativamente sencilla de evaluar la composición química del producto, lo que abre la puerta a otras posibles aplicaciones.

### Metodología analítica propuesta

De las diversas técnicas que usa la Química Analítica, la espectroscopía

es una de las opciones más sencillas y rápidas. A su vez, la región espectral que más típicamente ha sido aplicada en la determinación de la composición química de las muestras es la espectroscopía en la región infrarroja (IR). Además, la zona infrarroja media, dispone de equipos muy estables y robustos, normalización bien establecida, técnicas de trabajo sencillas y la posibilidad de correlacionar (al me-

nos, parcialmente) el espectro obtenido con la composición genérica del producto bajo análisis (29-36).

Los espectros (representación gráfica de la energía que absorbe la muestra) se obtuvieron empleando un espectrofotómetro FTIR Perkin-Elmer 16PC (región IR medio, detector DTGS, beamsplitter de KBr recubierto de Ge, fuente de filamento de Wolframio, apodización fuerte de

**FIGURA 4. Llenado del tanque de un avión comercial mediante un camión de repostaje.**



**FIGURA 5. Dermatitis crónica por exposición a queroseno (16).**





Beer-Norton y corrección de línea de base ).

### Muestras

Se han recogido 101 muestras de queroseno líquido en la refinería del complejo industrial de Repsol YPF de A Coruña a lo largo de cuatro años de producción (a la cual se agradece su inestimable colaboración), siendo su distribución: 18 muestras del año 1998, 33 muestras del año 1999, 41 muestras del año 2000 y 9 muestras del año 2001.

Las muestras (de, aproximadamente 250 mL) se han introducido en contenedores metálicos y se han cerrado herméticamente. Se han conservado en cámara fría a 4 °C hasta su análisis posterior. Un subconjunto de estas muestras se ha separado y será empleado para realizar los modelos estadísticos de calibración. El resto de muestras se emplearán como conjunto de validación para los modelos desarrollados y para evaluar el funcionamiento de dichos modelos. Debe destacarse que las muestras de calibración y validación no son las mismas, y no guardan más correlación que la que puedan presentar por el proceso industrial de producción.

### Dispositivos experimentales

En este trabajo se han preparado dos dispositivos experimentales diferentes para caracterizar el queroseno en fase gaseosa mediante espectroscopía infrarroja en la zona media (FT-MIR), uno de ellos instrumentalmente

muy sencillo y económico (mediante una celda de cuarzo) (37) y otro más complejo (haciendo uso de una celda de gases) (38-40).

Para predecir las propiedades del combustible a partir del vapor de queroseno (generado en la técnica de análisis) se usa una técnica de análisis de datos denominada regresión parcial por mínimos cuadrados (PLS), la cual trata de desarrollar un modelo de regresión entre dos conjuntos de variables (41): uno, correspondiente a las variables espectrales, y otro, correspondiente a la/s variable/s a predecir.

*En condiciones industriales normales de almacenamiento, manipulación y uso, los querosenos no presentan un riesgo para la salud. Pero en el caso concreto de la exposición ocupacional a los combustibles de aviación, ésta se produce en el trabajo de fabricación y distribución del queroseno.*

### Sistema de medida sencillo

Además del equipo de medida antes citado, se precisan una celda de cuarzo con paso óptico fijo de un centímetro (habitual en cualquier laboratorio analítico) y una cámara termostatazada (Spectroscopy Central Ltd., U. K.), también habitual en los laboratorios.

El estudio y optimización del sistema se llevó a cabo (Fig. 6) introduciendo 50 µL de queroseno en la celda y generando una fase vapor calentando a 37 °C durante dos minutos en la cámara termostatazada. Una vez obtenida de esta manera la fase vapor, la celda de cuarzo se introdujo rápidamente en el compartimento del espectrómetro para obtener el espectro de la muestra.

De esta forma se obtienen espectros satisfactorios con señales absorbentes buenas y bajo ruido de fondo. Nótese que sólo se puede trabajar en el rango espectral de 3500-2500cm<sup>-1</sup> (zona espectral para la que es transparente la celda de cuarzo).

### Sistema de medida complejo

Para este sistema de generación y medida de vapores de queroseno se precisa el siguiente material: celda de gases de paso óptico 10 cm (Wilmad glass Company, USA), ventanas de ZnSe, gas N<sub>2</sub> como fluido impulsor, recipiente de calentamiento de vidrio Pyrex, cinta calefactora (Selecta, Barcelona, España) y baño termostático (Selecta Precisterm 2L, Barcelona, España).

Como se aprecia en la figura 7, los espectros IR de diferentes muestras de queroseno son muy similares, debido a que su producción es homogénea. Las bandas de absorción, como se puede observar, se encuentran en todo el rango espectral, pero especialmente a 1.464 y 3.000 cm<sup>-1</sup> (donde las bandas se saturan). Por esta razón, en este trabajo se ha seleccionado el rango de 1.700-1.100 cm<sup>-1</sup>.

El procedimiento a seguir para poder realizar la medida de queroseno en fase gas mediante este dispositivo se resume en la figura 8. El queroseno líquido se introduce en un recipiente de vidrio Pyrex y se calienta, empleando un baño termostático para producir vapor de queroseno. A continuación, para poder arrastrar el vapor hacia la celda de gases, se hace pasar una corriente de N<sub>2</sub>, se cierra la corriente de gas y se obtiene el espectro FTIR.

Las variables experimentales que influyen sobre la generación del vapor

y su mantenimiento durante el tiempo de medida IR se optimizaron de forma detallada: a) flujo de gas portador, b) tiempo de arrastre del vapor, c) temperatura de la línea de transferencia del vapor y celda de medida (170-180 °C), d) volumen de muestra (0,2-3 mL), e) temperatura del baño termostático (130-190 °C), f) tiempo de calentamiento en el baño termostático (120-360 s).

Las variables a) y b) no se pudieron optimizar de forma estadística para evitar problemas operativos de sobrepresión en la celda y sus valores se fi-

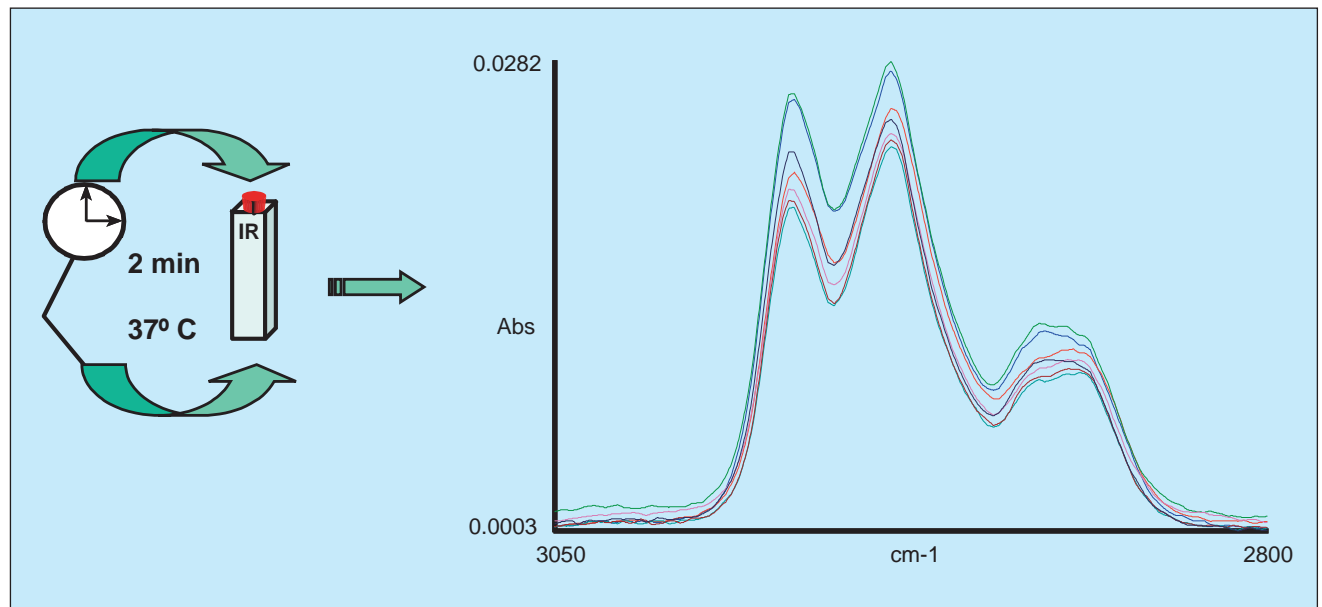
jan tras unas pruebas preliminares en 2 L/min y 4 s. La variable c) se ha optimizado entre 170-180 °C de forma univariante encontrándose un máximo valor de absorbancia a 173 °C (rango de variación 170-175 °C). El volumen de muestra d) y el tiempo de residencia del vapor e) se han optimizado mediante técnicas univariantes, y sus valores óptimos fueron 2 mL y 35 s. La temperatura del baño termostático y el tiempo de permanencia del queroseno dentro de él se han optimizado mediante método SIMPLEX, debido a la fuerte relación existente entre ellas y

su gran influencia en los resultados (Fig. 9). Los valores seleccionados fueron 186 °C y cinco minutos.

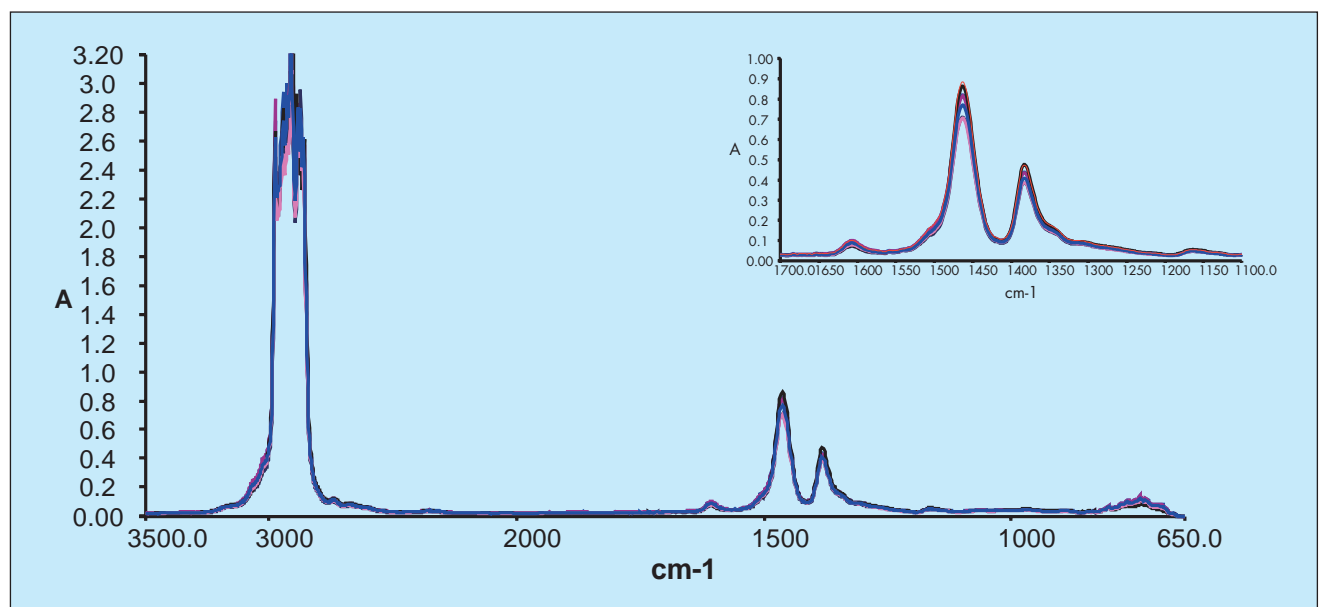
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se ha mencionado anteriormente, se han modelado mediante el método PLS 6 propiedades de los querosenos, importantes para su seguridad de manipulación: punto de deflagración (*flash point*, Abel), punto inicial de destilación (pi), 10 por ciento de destilación (pd10), punto final de

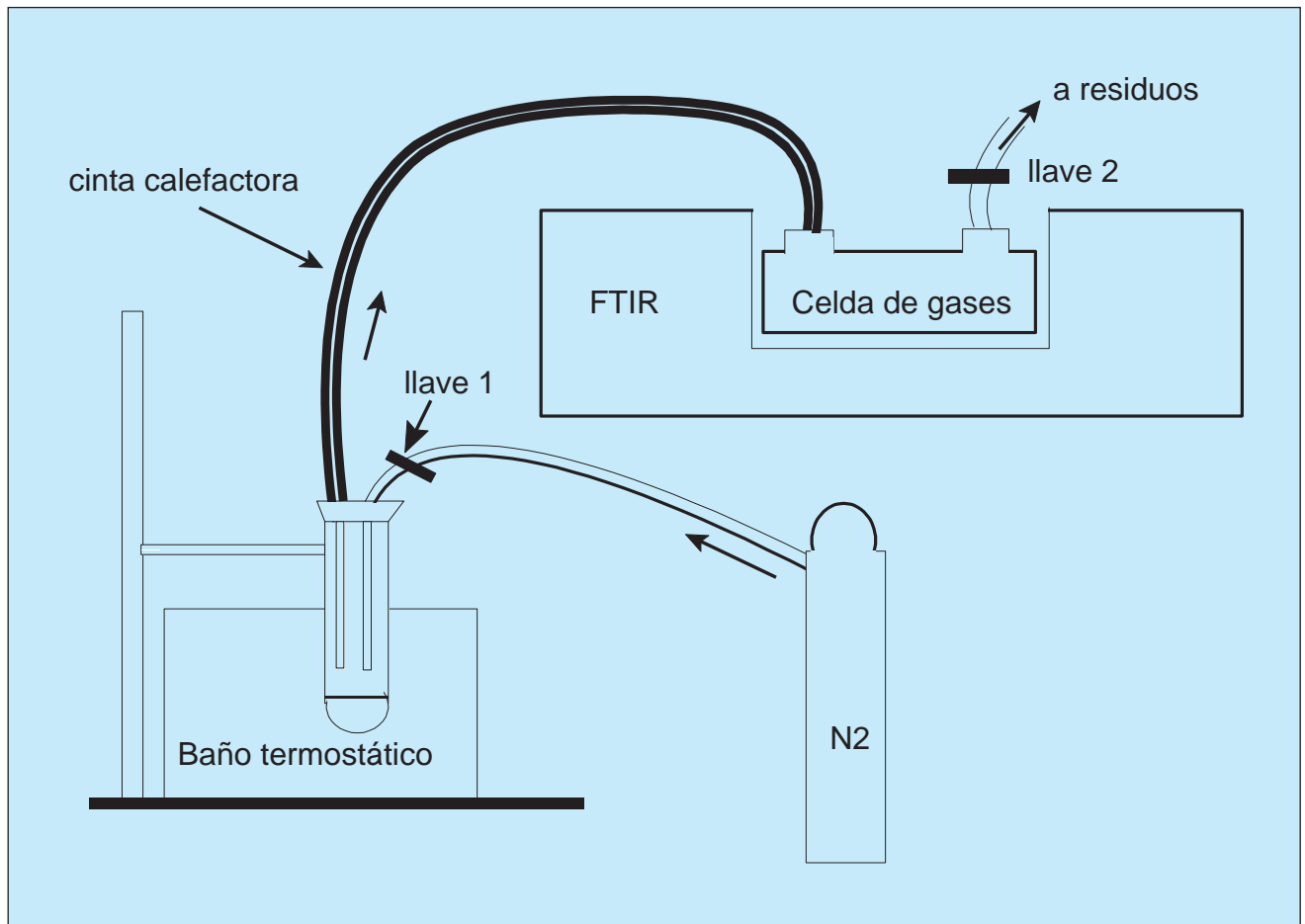
**FIGURA 6. Esquema de trabajo y espectros de diferentes muestras de querosenos en fase vapor mediante el dispositivo experimental sencillo (con celda de cuarzo de un centímetro).**



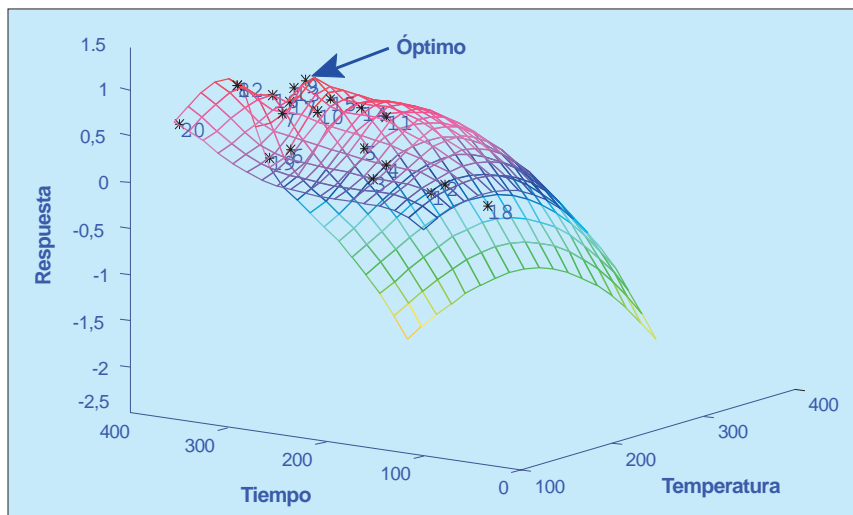
**FIGURA 7. Espectros IR de muestras de queroseno medidas mediante la celda de gases. Vemos el rango total de espectro (de 3.500-650 cm<sup>-1</sup>) y el rango escogido para realizar los modelos (de 1.700-1.100 cm<sup>-1</sup>)**



**FIGURA 8.** Dispositivo experimental empleando la celda para gases. El conducto por el que pasan los vapores de queroseno y la celda de gases se rodean con una cinta calefactora para que no haya condensación.



**FIGURA 9.** Optimización de la temperatura del baño termostático y el tiempo de generación de vapor.



destilación (fbp), porcentaje de aromáticos y viscosidad.

Como en la sistemática de trabajo que se está poniendo a punto se combinan técnicas de análisis con técnicas

de tratamientos de datos, el resultado es un proceso que se suele denominar «modelo de predicción». En la Tabla I se muestra un breve resumen de los parámetros más relevantes de mode-

los escogidos, tanto empleando la celda de gases (sistema de medida complejo) como usando la celda de cuarzo (sistema de medida simple). En general, los modelos establecidos mediante las metodologías propuestas en este trabajo son buenas. La precisión es satisfactoria, tanto medida como repetibilidad ( $r$ ) (cuando se realizan las medidas consecutivamente en una misma sesión de trabajo por el mismo operador y empleando la misma muestra) como en reproducibilidad ( $R$ ) (cuando se utiliza en diferentes sesiones de trabajo, por operadores diferentes y empleando la misma muestra), según las define ASTM (American Association for Testing and Materials). En todos los casos (excepto para la viscosidad y el punto de deflagración predicho empleando el sistema complejo) se obtienen precisiones inferiores a los métodos estipulados en las especificaciones internacionales (11).

En cuanto a la exactitud, ésta se establece por comparación entre los resultados de los análisis obtenidos mediante los métodos «clásicos» y los que aportan los métodos propuestos.

Un parámetro que resume bastante bien esa información es el SEP (error promedio de predicción), el cual indica qué diferencia existe en promedio al aplicar ambas opciones. Evidentemente, cuanto menor es el SEP, menores diferencias existirán. En este trabajo se ha establecido el criterio de que sólo se considerarán adecuados aquellos modelos que aporten valores SEP inferiores a los valores de precisión R de los métodos clásicos. Es decir, que el error que se pueda cometer en la predicción de los parámetros de calidad deberá ser inferior a la variabilidad del método clásico. Como ejemplo, en la figura 10 se representa el valor «real» del 10 por ciento de destilación frente al error predicho obtenido mediante el modelo escogido para esta propiedad (para el sistema de medida con la celda de cuarzo). Se observa que todas las predicciones se ajustan bastante bien a la recta que representaría la predicción exacta.

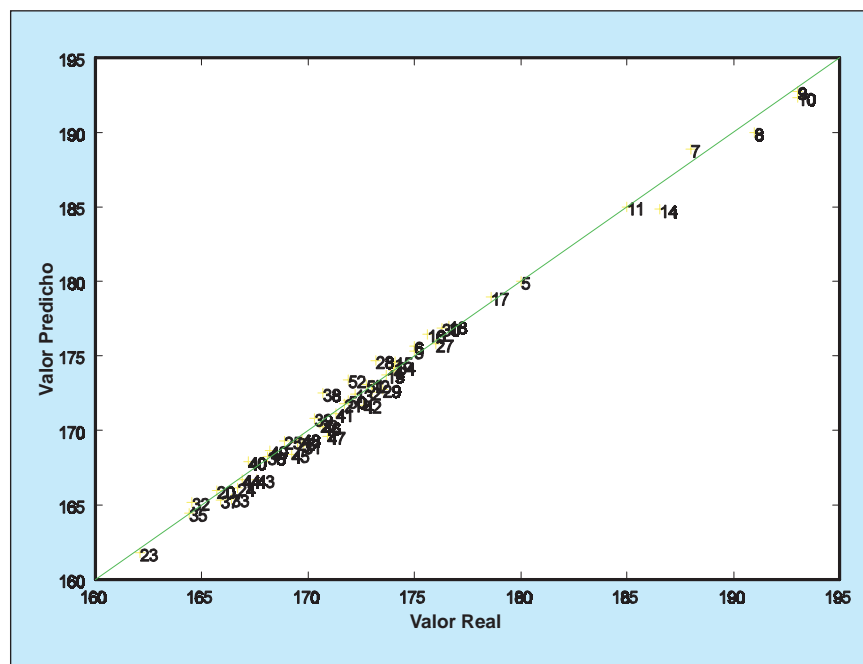
En la Tabla I se aprecia que los valores SEP de los modelos escogidos son inferiores a la reproducibilidad e, incluso, a la repetibilidad de los métodos oficiales. Como consecuencia de los valores observados, se deduce que cualquiera de los dos métodos empleados (tanto el que emplea celda de cuarzo como el de celda de gases) es válido para la predicción de los valores de los parámetros de seguridad del combustible de aviación, excepto en el caso de la viscosidad, ya que el error promedio es mayor que la reproducibilidad de ASTM; esto puede deberse bien a que la viscosidad se define en función del uso de un viscosímetro a una temperatura determinada (lo que indica que la mejor forma para determinar la viscosidad es haciendo uso de un viscosímetro de vidrio), bien a que la precisión y exactitud del método ASTM son excelentes, con los cuales es difícil competir.

Observando la Tabla I se aprecia que de los dos métodos de trabajo propuestos, la celda de cuarzo ofrece mejores resultados, lo cual puede ser debido a que la celda de gases tiene un sistema más complejo y con más uniones entre elementos del montaje, y, por tanto, hay más posibilidad de pérdidas del vapor de queroseno producido. Por contra, en la celda de cuarzo no hay posibilidad de fugas del vapor. Se observó que en el caso del porcentaje de aromáticos que contienen las muestras de queroseno se obtienen mejores resultados con la celda de gases, como cabría suponer, debido a que se somete la muestra de queroseno a un mayor calentamiento de muestra y las fracciones menos volátiles se modelizan mejor.

**TABLA 1. Modelos escogidos para cada una de las propiedades de los querosenos, siendo: SEP (el error estándar de predicción),  $N_v$  (número de muestras de validación), r (repetibilidad) y R (reproducibilidad).**

PROPIEDAD	Medida con celda de cuarzo				Medida con celda de gases				Métodos oficiales	
	SEP	$N_v$	r	R	SEP	$N_v$	r	R	r	R
Abel	1.03	34	1.48	1.43	1.51	32	2.53	3.91	1	1.5
pi	3.37	43	1.33	2.62	3.26	34	3.10	4.18	3.5	8.5
pd10	2.28	46	3.17	3.12	2.64	38	2.41	3.56	3.0	6.5
fbp	4.13	38	3.80	5.00	3.22	31	2.06	3.71	3.5	10.5
% aromáticos	0.94	43	1.37	1.37	0.61	32	0.77	1.29	1.3	2.7
viscosidad	0.14	41	0.50	0.50	0.12	35	0.11	0.21	0.02	0.04

**FIGURA 10. Valor real del 10 por ciento de destilación frente al valor predicho para las muestras de calibración medidas mediante el sistema sencillo. La línea verde representa el valor ideal.**



### CONCLUSIONES

1.<sup>a</sup> Los resultados obtenidos permiten afirmar que las dos metodologías propuestas como alternativas a la realización de seis ensayos diferentes para determinar sendos parámetros de calidad del queroseno son satisfactorias, excepto para la determinación de la viscosidad.

2.<sup>a</sup> De los dos métodos puestos a punto, el más sencillo ofrece resultados ligeramente superiores al procedimiento más complejo. Además, es más rápido y mucho más económico. Ahora bien, su aplicación es menos genérica por lo que si se quisiera apli-

car a otro tipo de muestras (p.ej., asfaltos) no sería útil.

3.<sup>a</sup> Los modelos establecidos permiten evaluar parámetros de calidad del combustible de aviación que están directamente relacionados con la seguridad en su manejo y con los riesgos de explosión: punto de deflagración, punto inicial de destilación, 10 por ciento de destilación, punto final de destilación, porcentaje de aromáticos y viscosidad.

4.<sup>a</sup> En cuanto a la evaluación de los riesgos para la salud de los trabajadores, dejando de lado posibles explosiones ó incendios (que se incluyen en las conclusiones anteriores), la téc-



nica empleada ha presentado una dificultad no prevista inicialmente. Como se indicó anteriormente en la parte experimental, los espectros obtenidos son bastante sencillos en cuanto a la interpretación química. Lo que en ese momento era una ventaja se ha tornado en un problema a la hora de determinar compuestos específicos potencialmente nocivos (p. ej., benceno). En consecuencia, no se ha podido realizar un proceso de calibración ni cuantificar ese tipo de sustancias en las muestras de combustible de aviación.

5.ª A pesar de lo indicado en la conclusión anterior, las metodologías propuestas deben ser capaces de proporcionar esa información, puesto que el espectro infrarrojo (por definición) pone de manifiesto la estructura química de las muestras. Lo único que se puede afirmar es que durante el tiempo de desarrollo de este proyecto no se ha conseguido encontrar la forma de revelar esa información y hacerla útil a nuestros propósitos. Esto debería constituir, pues, una línea de trabajo futuro.

## BIBLIOGRAFÍA

(1) [www.chevron.com/prodserv/fuels/bulletin/aviationfuel/toc.shtm](http://www.chevron.com/prodserv/fuels/bulletin/aviationfuel/toc.shtm), 2002.

(2) [www.concawe.be/download/reports/rpt\\_94-106.pdf](http://www.concawe.be/download/reports/rpt_94-106.pdf), 2002.

(3) MCKAY MD, CH. A.; HART MD, K.; SIDDIQI MBBS, M.; McCORMICK PHARM D, M.A.; BAYER MD, M. J. CASE Report: «Pulmonary Interstitial Fibrosis Associated With Inhalation Exposure to Aviation Fuels», *Int. J. Med. Toxicol.* 2001, 4(3), 20.

(4) <http://193.51.164.11/hdocs/monographs/Vol45/45-04.htm>, 2002.

(5) MATTIE, D.R.; ALDEN, C.L.; NEWELL, T.K.; GAWORSKI, C.L.; FLEMMING, C.D.: «A 90-day continuous vapor inhalation toxicity study of JP-8 jet fuel followed by 20 or 21 months of recovery in Fischer 344 rats and C56BL/6 mice», *Toxicol. Pathol.* 1991, 19 (2), 77-87.

(6) [www.metrokc.gov/health/phnr/eapd/reports/cancer/jetfuel.pdf](http://www.metrokc.gov/health/phnr/eapd/reports/cancer/jetfuel.pdf), 2001.

(7) ATSDR 1993: *Case Studies in Environmental Medicine: Jet Fuel Toxicity*, US Department of Human Health Services Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, September 1993.

(8) SMITH, L.B.; BHATTACHARYA, A.; LEMASTERS, G.; SUCCOP, P.; PUHALA, E.; MEDVEDOVIC, M.; JOYCE, J.: «Effect of Chronic Low-level Exposure to Jet Fuel on Postural Balance of US Air Force Personnel», *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 1997, 39 (7), 623-632.

(9) LIU, S.; PLEIL, J.D.: «Method for liquid-liquid extraction of blood surrogates for assessing human exposure to jet fuel», *Journal of Chromatography B* 1999, 728, 193-207.

(10) <http://library.cbest.chevron.com>, 2001.

(11) DERD 2494: *Turbine Fuel, Aviation Kerosene Type, Jet A-1. Nato Code: F-35*. Joint Service Designation: AVTUR. Ministry of Defence. Defence Standard 91-91/Issue 3. 12 November 1999.

(12) Kalabokas, P.D.; Hatzianestis, J.; Bartzis, J.G.; Papagiannakopoulos: «Atmospheric concentrations of saturated and aromatic hydrocarbons around a Greek oil refinery», *Atmospheric Environment* 2001, 35, 2545-2555.

(13) [www.concawe.be/download/reports/rpt\\_99-52.pdf](http://www.concawe.be/download/reports/rpt_99-52.pdf), 2002.

(14) [www.interlink.es/ccoo-clh/CLH.HTM](http://www.interlink.es/ccoo-clh/CLH.HTM), 2002.

(15) [www.chevron.com/prodserv/aviation/jeta0518.shtm](http://www.chevron.com/prodserv/aviation/jeta0518.shtm), 2002b.

(16) [www.cdc.gov/niosh/ocderm4.html](http://www.cdc.gov/niosh/ocderm4.html), 2002.

(17) [www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp121-c1.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp121-c1.pdf), 2002.

(18) [www.vdh.staate.va.us/HHControl/fueloil.pdf](http://www.vdh.staate.va.us/HHControl/fueloil.pdf), 2002.

(19) HARRIS, D.T.; SAKIESTEWA, D.; ROBLED, R.F.; YOUNG, R.S.; WITTEN, M.: «Effects of short-term JP-8 jet fuel exposure on cell-mediated immunity», *Toxicology and Industrial Health* (2000) 16, 78-84.

(20) HARRIS, D.T.; SAKIESTEWA, D.; TITONE, D.; ROBLED, R.F.; YOUNG, R.S.; WITTEN, M.: «Substance P as prophylaxis for JP-8 jet fuel-induced immunotoxicity», *Toxicology and Industrial Health* (2000) 16, 253-259.

(21) [http://ocf.nps.navy.mil/jetfuel/docs/liv\\_kid\\_jp8.doc](http://ocf.nps.navy.mil/jetfuel/docs/liv_kid_jp8.doc), 2001.

(22) HARRIS, D.T.; SAKIESTEWA, D.; ROBLED, R.F.; WITTEN, M.: «Immunotoxicological effects of JP-8 Jet Fuel Exposure», *Toxicology and Industrial Health* 1997, 13 (1), 43-45.

(23) HARRIS, D.T.; SAKIESTEWA, D.; ROBLED, R.F.; WITTEN, M.: «Protection from JP-8 Jet Fuel Induced Immunotoxicity by Administration of Aerosolized Substance P», *Toxicology and Industrial Health* 1997, vol. 13 (5), 571-588.

(24) LIU, S.; PLEIL, J.D.: «Optimized determination of trace jet fuel volatile organic compounds in human blood using in-field liquid-liquid extraction with subsequent laboratory gas chromatographic-mass spectrometric analysis and on-column large-volume injection», *Journal of Chromatography B* 2001, 752, 159-171.

(25) [www.thermo.com/eThermo/CDA/BU\\_Home/BU\\_Homepage/0,1285,101,00.htm](http://www.thermo.com/eThermo/CDA/BU_Home/BU_Homepage/0,1285,101,00.htm), 2002.

(26) JOSEFSON, D.: «Jet fuel may cause nerve damage», *British Medical Journal (BMJ)* 1997, 315, 269-274.

(27) <http://library.cbest.chevron.com>, 2001.

(28) RIBAK, J.; RAYMAN, R.B.; FROOM, P.: *Occupational Health in Aviation*. Maintenance and Support Personnel. Academic Press, 1995.

(29) GARRIGUES, S.; ANDRADE, J.M.; DE LA GUARDIA, M.; PRADA, D.: «Multivariate calibration in Fourier Transform infrared spectrometry for prediction of kerosene properties», *Analytica Chimica Acta* 1995, 317, 95-105.

(30) FODOR, G.E.; KOHL, K.B.: «Analysis of Middle Distillate Fuels by Midband Infrared Spectroscopy», *Energy & Fuels* 1993, 7(5), 598-601.

(31) FODOR, G.E.: *Analysis of Petroleum Fuels by Midband Infrared Spectroscopy*. International Congress & Exposition, Detroit, Michigan. February 28-March 3, 1994.

(32) FODOR, G.E.; KOHL, K.B.; MASON, R.L.: «Analysis of Gasolines by FT-IR Spectroscopy Analytical Chemistry», 1996, 68, 23-30.

(33) FODOR, G.E.; MASON, R.A.; HUTZLER, S.A.: «Estimation of Middle Distillate Fuel Properties by FT-IR», *Applied Spectroscopy* (1999), vol. 53 (10), 1292-1298.

(34) IOB, A.; ALI, M.A.; TAWABINI, B.S.; ABBAS, N.M.: «Hydrocarbon group (PONA) analysis of reformat by FT-IR spectroscopy», *Fuel* 1996, 75 (9), 1060-1064.

(35) MACHO, S.; BOQUÉ, R.; LARRECHI, M.S.; RIUS, X.: «Multivariate determination of several compositional parameters related to the content of hydrocarbon in naphtha by MIR spectroscopy», *Analyst* 1999, 124, 1827-1831.

(36) COLLETTE, T.W.: «Predicting environmental fate parameters with infrared spectroscopy», *Trends in analytical chemistry* 1997, 16 (1), 24-36.

(37) SMITH, BRIAN C.: *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. CRC Press, 1996.

(38) LÓPEZ-ANREUS, E.; GARRIGUES, S.; DE LA GUARDIA, M.: «Simultaneous vapour phase Fourier transform infrared spectrometric determination of butyl acetate, toluene and methyl ethyl ketone in paint solvents», *Analyst* 1998, 123, 1247-1252.

(39) PÉREZ-PONCE, A.; GARRIGUES, J.M.; GARRIGUES, S.; DE LA GUARDIA, M.: «Vapour phase Fourier transform infrared spectrometric determination of carbonate in sediments», *Analyst* 1998, 123, 1817-1821.

(40) PÉREZ-PONCE, A.; GARRIGUES, S.; DE LA GUARDIA, M.: «Direct determination of total SO<sub>2</sub> in musts and wines by vapour phase Fourier transform infrared spectrometry», *Química Analítica* 2000, 19, 151-158.

(41) WOLD, S.; SJÖSTRÖM, M.; ERIKSSON, L.: «PLS-regression: a basic tool of chemometrics», *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 2001, 58, 109-130.

*De los dos métodos de trabajo propuestos, la celda de cuarzo ofrece mejores resultados, lo cual puede ser debido a que la celda de gases tiene un sistema más complejo.*