

INFORME ESTUDIO ANALÍTICO: ESTUDIO DE INFLAMABILIDAD DE TIERRAS CONTAMINADAS CON GASOLINA, DIÉSEL Y FUEL PESADO Y ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS COMO RESIDUOS INFLAMABLES (HP₃) A PARTIR DEL CONTENIDO EN COMPONENTES BTEX-ALIFÁTICOS C₆, C₇-ESTIRENO

2017



EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

Residuos

Informe Estudio Analítico: ESTUDIO DE INFLAMABILIDAD DE TIERRAS CONTAMINADAS CON GASOLINA, DIÉSEL Y FUEL PESADO Y ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS COMO RESIDUOS INFLAMABLES (HP₃) A PARTIR DEL CONTENIDO EN COMPONENTES BTEX-ALIFÁTICOS C₆, C₇-ESTIRENO

2017

Fecha	Septiembre de 2017
Autor	Gobierno Vasco, en colaboración con su Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Ihobe, S.A. e Intertek, S.A.
Propietario	Gobierno Vasco



 euskadi.eus

www.euskadi.eus

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	4
2	TERMINOLOGÍA Y DEFINICIONES	5
3	METODOLOGÍA APLICABLE:	6
3.1	REGLAMENTO 1272/2008	6
3.2	REGLAMENTO Nº 440/2008	6
3.3	ECHA Y GUÍA BRITÁNICA	6
4	REQUERIMIENTO	7
5	PROPUESTA DE INTERTEK	7
6	MÉTODOS DE INFLAMABILIDAD APLICADOS EN EL ESTUDIO	7
6.1	ASTM D 93	7
6.2	ASTM D 92	8
7	MÉTODOS DE CROMATOGRAFÍA APLICADOS EN EL ESTUDIO	10
7.1	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	10
7.2	ANÁLISIS BTEX	11
7.3	ANÁLISIS TPH	11
8	SUELOS	12
9	CONTAMINANTE	13
9.1	EVAPORACIÓN DE HIDROCARBUROS EN UN DERRAME	14
	<i>Comentarios:</i>	17
9.2	GASOLINA ANTES Y DESPUÉS DE LA DESTILACIÓN DEL 10%	18
	<i>Comentarios:</i>	19
9.3	GASOIL ANTES Y DESPUÉS DE LA DESTILACIÓN DEL 10%	19
	<i>Comentarios:</i>	20
9.4	HUELLA DEL FUEL OIL SIN MEZCLA	20
	<i>Comentarios:</i>	20
9.5	HUELLA DE LA MEZCLA 1:1:1	21
10	PROCEDIMIENTO	21
11	RESULTADOS DE ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD	22
	COMENTARIOS:	25
12	RESULTADOS DE ENSAYOS DE BTEX	26
13	RESULTADOS DE ENSAYOS DE TPH	27
14	COMENTARIOS GENERALES	30
15	CONCLUSIONES	32
16	LISTA DE CROMATOGRAMAS	33

1 Introducción

Como consecuencia de la publicación del REGLAMENTO (UE) No 1357/2014 DE LA COMISIÓN de 18 de diciembre de 2014 que modifica el anexo III de la directiva 2008/98/CE, referente a las categorías de peligrosidad y los límites de concentración de las sustancias que determinan la peligrosidad de los residuos y en el que se establece como característica que permite clasificar el residuo como peligroso la inflamabilidad (HP3).

Asimismo se indica que, Cuando un residuo contenga una o varias sustancias clasificadas con uno de los códigos de clase y categoría de peligro y de indicación de peligro indicados en el cuadro 3, el residuo se evaluará, cuando resulte adecuado y proporcionado, de acuerdo con métodos de ensayo. Si la presencia de una sustancia indica que el residuo es inflamable, se clasificará como peligroso por HP 3.

Cuadro 3: Códigos de clase y categoría de peligro y códigos de indicación de peligro para la clasificación de residuos como peligrosos por HP 3 (solo se incluye los códigos aplicables)

Códigos de clase y categoría de peligro	Códigos de indicación de peligro	Descripción
Flam. Liq. 1	H224	Extremely flammable liquid and vapour
Flam. Liq.2	H225	Highly flammable liquid and vapour
Flam. Liq.3	H226	Flammable liquid and vapour

En la tabla 2.6.1 del REGLAMENTO (CE) No 1272/2008 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO se establecen los límites para cada categoría.

Tabla 2.6.1. Criterios de clasificación de los líquidos inflamables

Categoría	Criterios
1	Punto de inflamación < 23 °C y punto inicial de ebullición ≤ 35 °C
2	Punto de inflamación < 23 °C y punto inicial de ebullición > 35 °C
3	Punto de inflamación ≥ 23 °C y ≤ 60 °C (1)

(1) A efectos del presente Reglamento, los gasóleos, carburantes diésel y aceites ligeros para calefacción que tengan un punto de inflamación entre ≥ 55 °C y ≤ 75 °C pueden considerarse como categoría 3.

2 Terminología y Definiciones

Punto de inflamación (Flash Point) es la temperatura más baja, corregida a una presión de 101.325 kPa, en la que un líquido produce vapores, en las condiciones especificadas en el método de ensayo, en una cantidad tal que se produce una mezcla inflamable vapor / aire en el recipiente de ensayo que se enciende momentáneamente y una llama se propaga a través de la superficie del líquido.

El punto de inflamación o destello, es una medida de la tendencia de la muestra a formar una mezcla con aire que sea inflamable bajo condiciones de laboratorio controladas y puede indicar la posible presencia de materiales altamente volátiles e inflamables en un material no volátil o no inflamable.

Discusión: Se considera que la muestra de ensayo ha destellado cuando aparece una llama y se propaga instantáneamente sobre toda la superficie de la muestra de ensayo.

Punto de Incendio (Fire Point) es la temperatura más baja corregida a una presión barométrica de 760 mm Hg, en la que la aplicación de una fuente de ignición provoca que los vapores de una probeta de la muestra se inflamen y **mantengan la combustión durante un mínimo de 5s** bajo condiciones especificadas de ensayo.

Equilibrio, en la determinación de la inflamabilidad de productos derivados del petróleo es la condición en la que el vapor en la superficie y la muestra de ensayo están a la misma temperatura en el momento en que la fuente de ignición es aplicado.

Se define como **Residuos líquidos inflamables**: Los residuos líquidos con un punto de inflamación inferior a 60 °C, o gasóleos, carburantes diésel y aceites ligeros para calefacción usados con un punto de inflamación entre: $> 55\text{ °C}$ y $\leq 75\text{ °C}$

En el apartado 2.7.1 del reglamento 1272/2008 se entiende por **sólido inflamable una sustancia sólida que se inflama con facilidad** o que puede provocar fuego o contribuir a provocar fuego por fricción, y que las Sustancias sólidas fácilmente inflamables son sustancias pulverulentas, granulares o pastosas, que son peligrosas en situaciones en las que es fácil que se inflamen por breve contacto con una fuente de ignición, tal como una cerilla encendida, y si la llama se propaga rápidamente.

3 Metodología aplicable:

3.1 Reglamento 1272/2008

En la tabla 2.6.3 del REGLAMENTO (CE) No 1272/2008 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO se indican los posibles métodos de ensayo para la determinación del punto de inflamación de líquidos inflamables.

Tabla 2.6.3. Métodos para la determinación del punto de inflamación de líquidos inflamables:

Normas europeas	EN ISO 1516 modificada	Determinación del punto de inflamación/no inflamación — Método del equilibrio en vaso cerrado
	EN ISO 1523 modificada	Determinación del punto de inflamación — Método del equilibrio en vaso cerrado
	EN ISO 2719 modificada	Método Pensky-Martens en vaso cerrado
	EN ISO 3679 modificada	Método rápido del equilibrio en vaso cerrado

3.2 Reglamento nº 440/2008

En el REGLAMENTO (CE) Nº 440/2008 DE LA COMISIÓN de 30 de mayo de 2008 por el que se establecen métodos de ensayo de acuerdo con el Reglamento (CE) nº 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo al registro, se indican métodos de ensayo para inflamabilidad en sólidos [como el método A.10. **Inflamabilidad (SÓLIDOS)**], aunque pueden ser admitidos otros ensayos si se corresponden con normas internacionalmente aceptadas.

El método A10, no es aplicable en nuestro caso ya que se refiere a sólidos inflamables sin necesidad de contaminación. El método de ensayo con resultados más aproximados es el método ASTM D-92 **Flash and Fire Point by Cleveland Open Cup Tester**

3.3 ECHA y Guía Británica

En el borrador de la **European Chemical Agency's Guidance on the Application of the CLP - Criteria Draft version 5.0 – July 2016** y en la guía británica, **Waste Classification: Guidance on the classification and assessment of waste (1st Edition 2015)**

ISO 3679 Determinación del flash point – Pretratamiento de la muestra antes de realizar el siguiente ensayo:

EN ISO 3680 Determinación del punto de inflamación mediante determinación pasa/no pasa. Método del equilibrio rápido en vaso cerrado

Especifica el procedimiento de ensayo de punto de inflamación, dentro del rango de temperatura de -30 °C a 300 °C, para pinturas, incluyendo pinturas acuosas, barnices, aglutinantes para pinturas y barnices, adhesivos, disolventes, petróleo y productos relacionados.

Al ser un método de pasa/No pasa, no es aplicable en nuestro caso.

4 Requerimiento

El problema surge cuando esta clasificación se desea aplicar a residuos que sean suelos potencialmente contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo, por ello, IHOBE requirió la realización técnica de los ensayos y análisis que permitieran establecer tramos de concentraciones o porcentajes de hidrocarburos contaminando suelos estándar seleccionados.

5 Propuesta de Intertek

Intertek propone realizar ensayos con métodos internacionales en vaso abierto (ASTM D92) y en vaso cerrado (ASTM D93) para desarrollar el estudio en diferentes tipos de suelos y con diferentes contaminantes de hidrocarburos derivados del petróleo para determinar los porcentajes de contaminante en cada tipo de suelo que dan Flash Point a temperatura ambiente (15 a 25°C) corregida a Presión atmosférica de 760 mmHg y los tramos de temperaturas en las que se produce el Flash Point.

Estos métodos propuestos son muy similares a la norma EN ISO 2719 propuesta en la tabla 2.6.3 del REGLAMENTO (CE) No 1272/2008 y al método A10 indicado en el REGLAMENTO (CE) No 440/2008 DE LA COMISIÓN

Los resultados de estos métodos de ensayo pueden utilizarse como elementos de una evaluación del riesgo de incendio teniendo en cuenta todos los factores pertinentes para una evaluación del riesgo de incendio para un uso final específico.

6 Métodos de Inflamabilidad aplicados en el estudio

6.1 ASTM D 93

STANDARD TEST METHODS FOR FLASH POINT BY PENSKY-MARTENS CLOSED CUP TESTER

Este método cubre la Determinación del punto de inflamabilidad (conocido como flash point) de productos derivados del petróleo en el rango entre 40°C y 360°C en vaso cerrado.

Básicamente el equipo consta de una copa que se rellena con la muestra a ensayar hasta la marca indicada y una tapa que consta de un agitador y la fuente de ignición, que en este caso es eléctrica que se ajusta a la intensidad señalada por el constructor, un termómetro o una PT100, una ventana que se cierra y abre automáticamente para permitir acercar la fuente de ignición a la superficie de la muestra. El conjunto se



acopla a la copa para quedar el sistema cerrado.

La copa es calentada durante el ensayo (incrementando 5 a 6°C /min.) y la fuente de ignición se introduce en la copa cada 1°C hasta que se produce la inflamación.

Se registra como punto de inflamación la temperatura en el momento en el que al aplicar la fuente de ignición provoca un destello en el interior de la copa del equipo.

Se considera que la muestra ha destellado cuando una llama aparece y se propaga instantáneamente por toda la superficie de la muestra de ensayo.

Los resultados obtenidos registran una temperatura significativamente más baja que la registrada sobre una alícuota de la misma muestra realizado con el ensayo anterior en vaso abierto, ya que permite una mayor y más rápida concentración de hidrocarburos en el vapor en equilibrio con la superficie de la muestra.



6.2 ASTM D 92

STANDARD TEST METHOD FOR FLASH AND FIRE POINTS BY CLEVELAND OPEN CUP TESTER

Este es el método denominado dinámico en el que el vapor por encima de la muestra de ensayo y la muestra de ensayo no están en equilibrio de temperatura en el momento en que se aplica la fuente de ignición

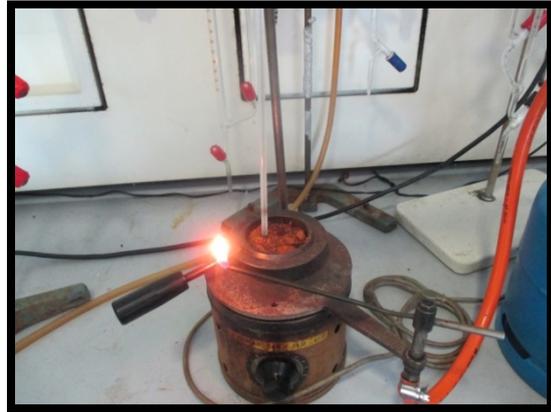
Esto es causado principalmente porque al ser método en vaso abierto el calentamiento de la muestra de ensayo a la velocidad prescrita constante es superior a la temperatura del vapor en la superficie de la probeta de prueba.

En la fotografía se muestra el equipo habitual para realizar este ensayo.

En nuestro laboratorio, la fuente de ignición de este método es una llama y no eléctrica como el anterior, y se ha tenido en cuenta que la aplicación de la llama de prueba puede causar un halo azul o una llama agrandada antes del punto de inflamación real. Esto no es un punto de inflamación y debe ser ignorado.



Se añaden 70 g de muestra a la copa o vaso de ensayo que se va calentando a rango constante y aproximando la llama cada intervalo de 1°C hasta el que se produzca el destello. Se registra la temperatura como punto de inflamabilidad y se continúa calentando hasta obtener que la llama se mantenga durante al menos 5s y se registra esa temperatura como Fire Point o punto de fuego.

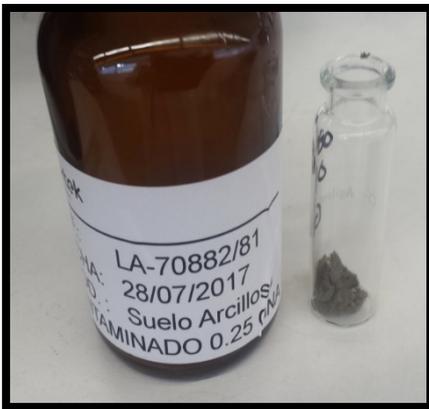


7 Métodos de Cromatografía aplicados en el estudio

7.1 Preparación de la muestra

Sonicación: aplicación de la energía ultrasonidos para agitar las partículas de la muestra, con el fin de homogeneizarla.

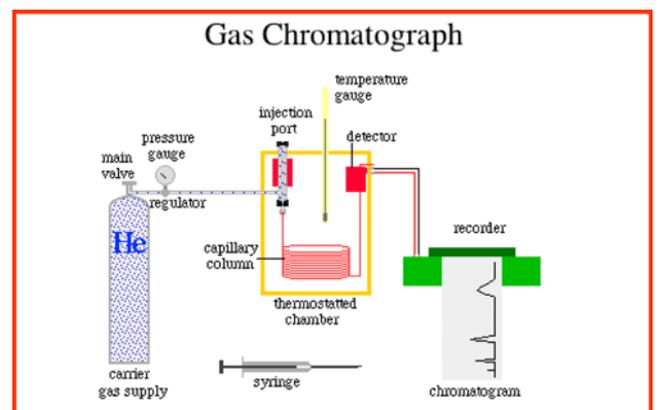
Toma de alícuotas



Filtración



Evaporación



7.2 Análisis BTEX

CROMATOGRAFÍA DE GASES CON DETECTOR DE MASAS, GC-MS (MÉTODO EPA 8260)

La inyección de la muestra es a través del espacio de cabeza (HS Headspace), el cromatógrafo de gases (GC) permite separar los diferentes componentes en función del tamaño de partícula y su temperatura de ebullición y con el detector de masas se consigue la determinación de los contaminantes. La cromatografía de gases-masas es una técnica que combina la capacidad de separación de la cromatografía de gases con la sensibilidad y capacidad selectiva del detector de masas.



La espectrometría de masas está basada en el diferente comportamiento que presentan los iones que se forman por las diferentes técnicas de ionización, al atravesar campos eléctricos y magnéticos. Así dichos iones son separados en función de su relación masa/carga (m/z) y detectados posteriormente.

En el análisis los picos individuales de benceno, tolueno, etilbenceno y xileno se suman para obtener el resultado final de BTEX

7.3 Análisis TPH

MÉTODO EPA 8015B INYECCIÓN DIRECTA GC-FID

Este procedimiento permite el uso de columnas empaquetadas o capilares, y permite el análisis de TPH incluidos los GRO y DRO. El detector de ionización de llama (FID) es un instrumento sensible que está optimizado para detectar diferentes gases que llegan a él después ser conducidos a través de una columna que permite separarlos por puntos de ebullición, polaridad, etc en función del tipo de columna utilizada.

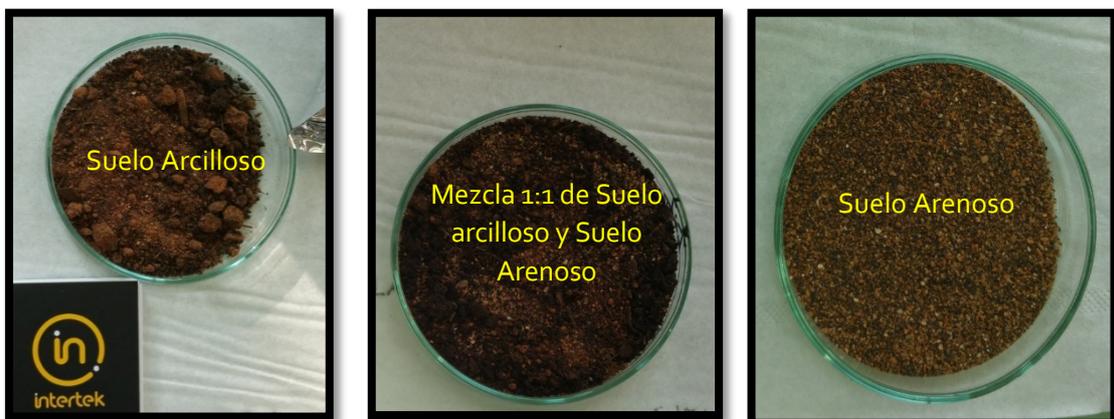


El término "hidrocarburos totales de petróleo" (TPH) se utiliza generalmente para describir la cantidad mensurable de hidrocarburos derivados del petróleo en el medio ambiente.

El Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group (TPHCWG, 1999) ha desarrollado los parámetros toxicológicos para las distintas fracciones en las que se clasifican los TPH, por ello en este estudio se determinan las fracciones en el rango de la gasolina (GRO) y en el rango del diésel (DRO).

8 Suelos

Se seleccionaron dos tipos de Suelos (Arcilloso y Arenoso) y su mezcla:



El Suelo Arcilloso se elaboró como una mezcla 1:1 de sustrato para plantas y caolín



El Suelo Arenoso se recolectó de la playa de La Arena (Zierbena/ Muskiz) y se mezcló al 50% con humus del sustrato anterior



9 Contaminante

Se seleccionaron tres tipos de contaminantes y su mezcla:

- **Gasolina EN 228** 10% degradada (pérdida de los HC más volátiles) (Gna)
- **Gasóleo EN 590** 10% degradado (pérdida de los HC más volátiles) (GO)
- **Fuel Oil ISO 8217 (FO)**
- **Mezcla 1:1 GO + FO**
- **Mezcla 1:1:1 Gna + GO + FO**





En la imagen anterior, se muestra el aspecto de la gasolina 95 a la izquierda, el gasóleo A en el centro y la mezcla 1:1:1 de Gasolina - Gasóleo - FO

Cuando se produce un derrame accidental de gasolina o gasóleo en el suelo, los componentes más ligeros se evaporan fácilmente, por lo que con el fin de acercar el estudio a la realidad se sometieron ambos carburantes a una destilación para eliminar el 10% de los hidrocarburos más ligeros. La destilación del 10% en la gasolina requirió un calentamiento del producto hasta 54°C y la destilación del 10% del gasóleo requirió un calentamiento del producto hasta 202°C. La degradación del 10% de la gasolina y el gasóleo se hizo antes de contaminar los suelos con la fracción pesada.

En este estudio no se ha incluido el Queroseno de aviación como contaminante, pero como se puede comprobar en la tabla siguiente, por su composición y el bajo contenido en HC de C₅ a C₈ podemos asimilarlo al comportamiento de un gasóleo ligero.

Composición Estándar Queroseno			
Compuesto	%	Compuesto	%
C ₅ -C ₆	0,03	C ₁₀ -C ₁₂	37,20
C ₆ -C ₈	1,60	C ₁₂ -C ₁₆	33,40
C ₈ -C ₁₀	26,10	C ₁₆ -C ₂₁	1,60

Si no se evapora al menos el 10%, el queroseno da un FP < 55°C en vaso cerrado.

9.1 Evaporación de Hidrocarburos en un derrame

Existen modelos matemáticos que permiten determinar la posible evaporación de gasolina en un charco procedente de un derrame en un terreno arenoso y en los que son necesarios conocer los datos siguientes:

1. Velocidad del viento a 10 metros del terreno y presión atmosférica.
2. Temperatura, peso molecular y presión de vapor del líquido.
3. Radio del charco (para charcos circulares) o radio equivalente (para charcos contenidos en cubetos).

Los modelos matemáticos presentados anteriormente, son mayoritariamente admitidos por la comunidad científica internacional para el cálculo de consecuencias y se basan, entre otros, en la siguiente bibliografía:

- Methods for the calculation of the physical effects of the escape of dangerous material (Liquids and gases). Parts I and II. CPR 14E. The Yellow Book, TNO. 1997.
- Loss prevention in the process industries. Volúmenes 1, 2 y 3. Frak P. Lees. Segunda edición. Ed. Butterworth-Heinemann, 1995.
- Perry's Chemicals engineer's handbook. Sexta edición. Robert H. Perry, Don Green. Ed. McGraw-Hill, 1984.
- Análisis y reducción de riesgos en la industria química. J. M. Santamaría, P. A. Braña. Ed. Mapfre, 1994.
- Guidelines for chemical process quantitative risk analysis. Center for Chemical Process Safety. AIChE. Nueva York, 1989.
- Guidelines for evaluating the characteristics of vapour cloud explosions, flash fires and BLEVEs. Center for Chemical Process Safety. AIChE. Nueva York, 1994.
- Manual de protección contra incendios. NFPA, 2ª edición. Ed. Mapfre. Madrid.
- Guía para la elaboración de estudios de seguridad. Guía técnica. Dirección General de Protección Civil. Madrid, 1988.
- Manual de seguridad industrial en plantas químicas y petroleras. J. M. Storch de Gracia. McGraw Hill, 1998.
- Metodologías de análisis de riesgos. Volúmenes I y II. CIEMAT-Dirección General de Protección Civil. Madrid, 1990.
- Guía técnica. Metodologías para el análisis de riesgos. Visión general. Dirección General de Protección Civil. Madrid, 1994.
- Guías Técnicas. Métodos cualitativos y cuantitativos para el Análisis de Riesgos. Dirección General de Protección Civil. Ministerio del Interior. Diciembre 1994, Madrid.

En el estudio sobre **Evaporación en el medioambiente de gasolina (90 Octanos) derramada sobre agua de mar y arena de playa (J.R. Bergueiro, F. Dominguez y N. Morales)** el porcentaje de gasolina evaporada en las primeras horas después del derrame supera el 50%, por lo que se ha considerado que destilar solo el 10% de la gasolina con la que se ha contaminado el suelo en este informe era suficiente y adecuado a los objetivos propuestos.

No obstante, se realizó un estudio de evaporación para comprobarlo

ESTUDIO DEGRADACION DE GASOLINA 95 POR EVAPORACIÓN

Condiciones ambientales externas Soleado, 18°C, Presion 102.20kPa Viento: 7km/h

Muestra utilizada:

- Gasolina 95 (LB71264 01)

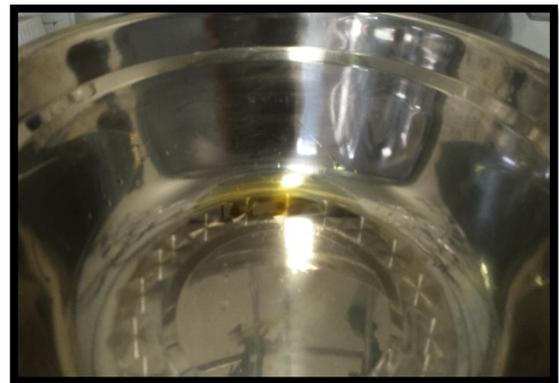
Prueba experimental:

- Se pesa una muestra de gasolina en una bandeja metálica 107.4gr (5mm espesor). Se hace una huella cromatográfica
- Se deja en el exterior al sol, durante 1h.
- Se pesa la muestra para ver cuánto se ha perdido (13.2gr, se ha perdido el 87.7%) y se hace una huella cromatográfica

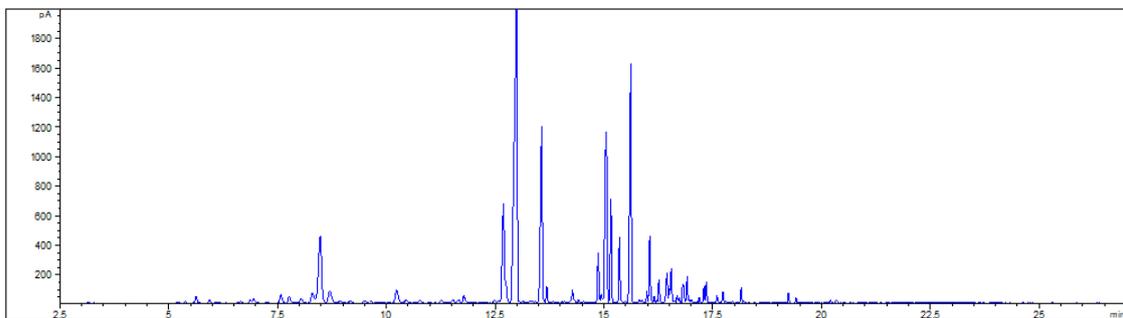
Muestra sin degradar expuesta atmósfera

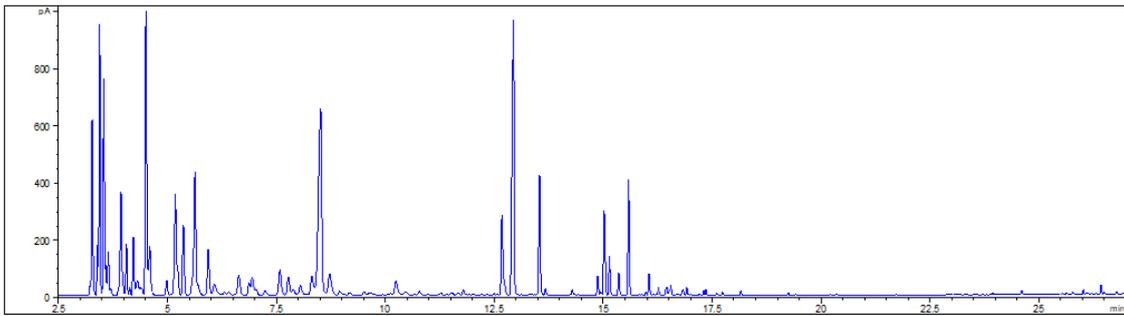


Muestra Degradada (1h)

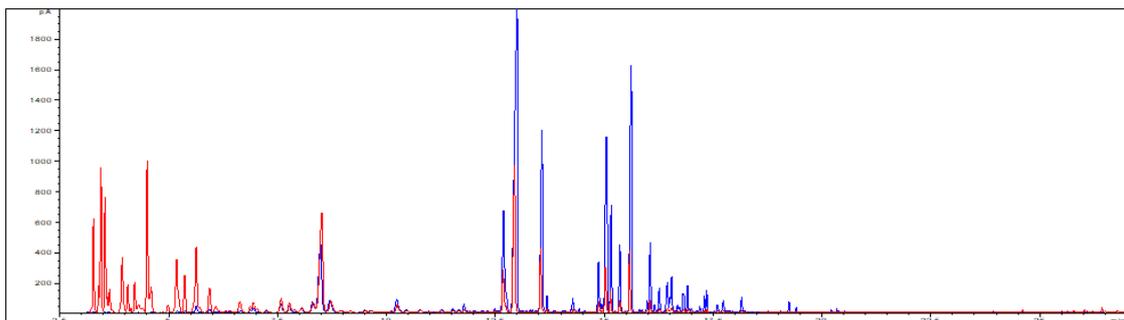


GNA DEGRADADA 1h AL SOL (12% QUE QUEDA)

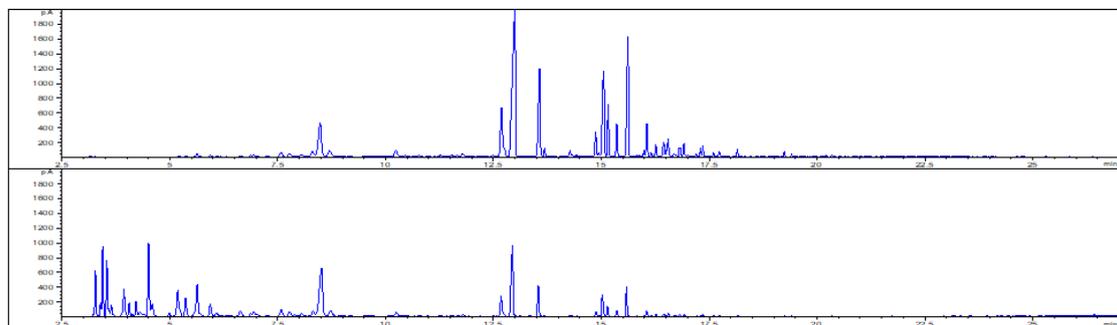




COMPARATIVA GNA SIN DEGRADAR (roja) Y DEGRADADA (azul)

Huella Hidrocarburos

COMPARATIVA GNA SIN DEGRADAR (debajo) Y DEGRADADA (arriba)

Huella Hidrocarburos**Comentarios:**

Tras 1h en la calle al sol se ha perdido más del 80%.

En los cromatogramas se ven como se ha perdido todos los alcanos C₅-C₈ y se ha enriquecido en los aromáticos más pesados. La muestra también se ve más amarillenta tras la degradación.

La composición de la Gasolina se puede resumir en los siguientes datos:

Total aromáticos: 20-36% distribuidos de la siguiente forma:

Benceno 0,7-0,8%;

Tolueno: 9-10%;

Xilenos+Etilbenceno: 11-12%;

C₉-Alkylbencenos: 6,5%;

C₁₀- Alkylbencenos: 0,4%

Oxigenados: ETBE: 10%;

EtOH: 0-2,5%

Alifáticos: 53-66%

Con esta comprobación podemos confirmar que utilizar una gasolina destilada al 10% es adecuado y cubrimos cualquier margen de error para el presente estudio de inflamabilidad.

En los cromatogramas siguientes se muestra la comparación de las huellas de los contaminantes antes y después de la destilación del 10% de sus componentes más ligeros:

9.2 Gasolina antes y después de la destilación del 10%

Ilustración 1: Huella de la Gasolina antes de la destilación

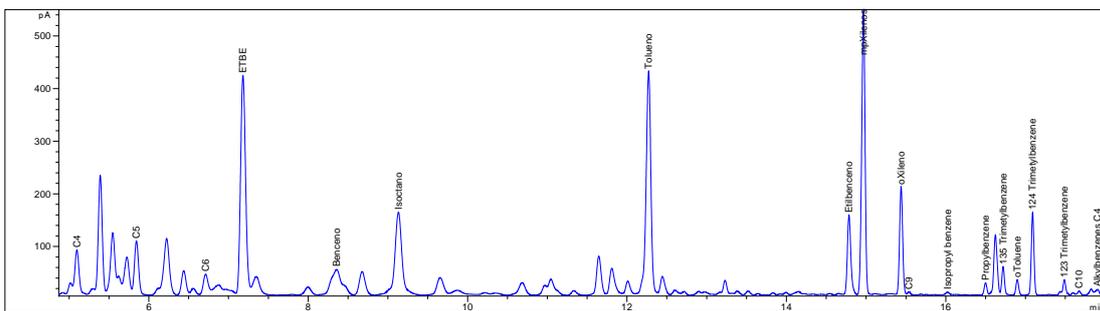


Ilustración 2: Huella de la Fracción Ligera de la Gasolina después de la destilación

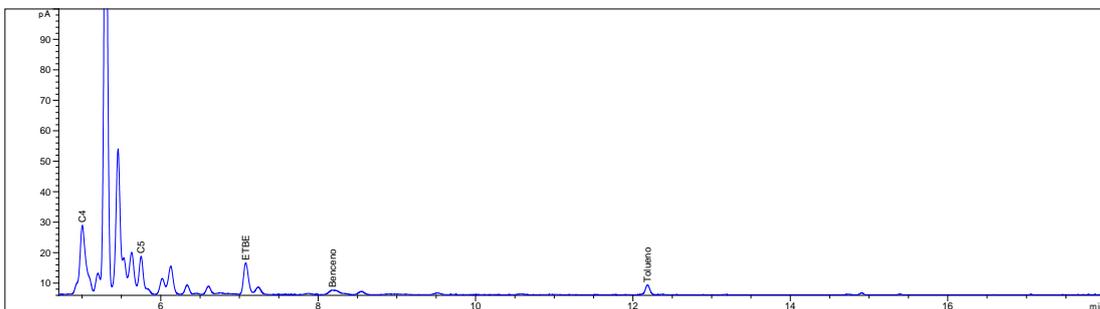


Ilustración 3: Huella de la Fracción Pesada de la Gasolina después de la destilación

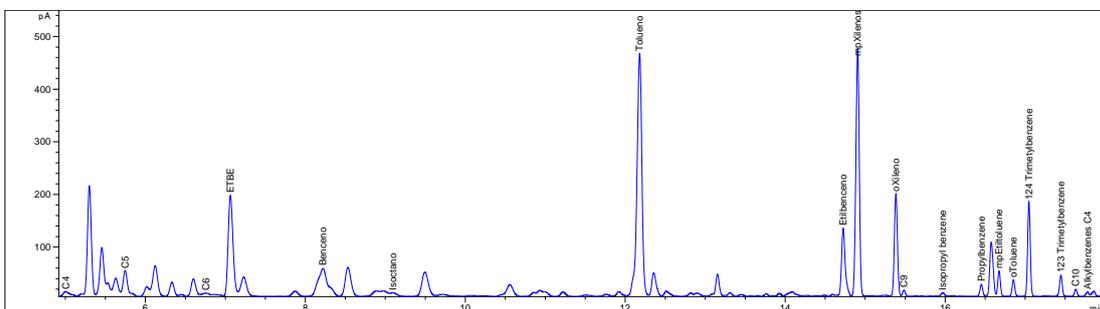
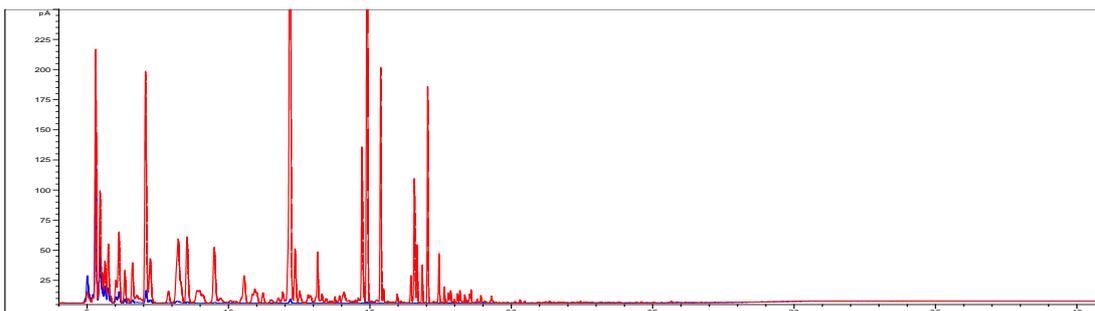


Ilustración 4: Huella comparativa Fracción Pesada vs Fracción Ligera de la Gasolina después de la destilación



Comentarios:

Al destilar el 10% de la gasolina calentando el producto hasta 54°C, fundamentalmente se ha eliminado la mayor parte de los hidrocarburos de cadenas lineales y ramificadas C₄, C₅ y C₆, pero no se alcanza a destilar los aromáticos más ligeros.

El punto inicial de destilación (temperatura de inicial ebullición) es 36°C

9.3 Gasoil antes y después de la destilación del 10%

Ilustración 5: Huella del GO antes de la destilación

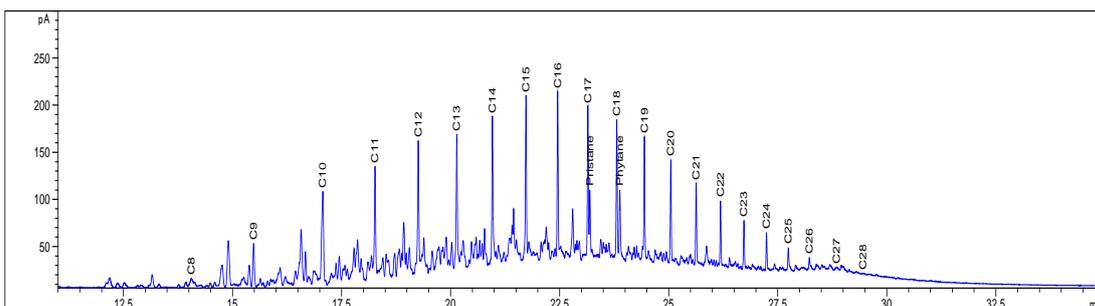


Ilustración 6: Huella de la Fracción Ligera del GO después de la destilación

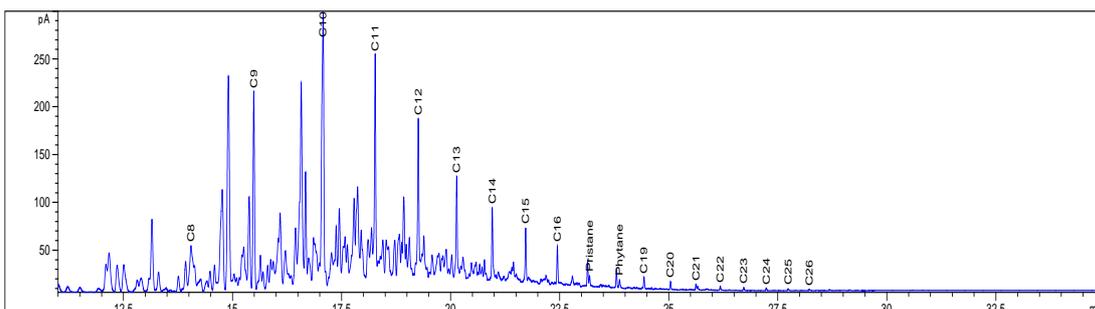


Ilustración 7: Huella de la Fracción Pesada del GO después de la destilación

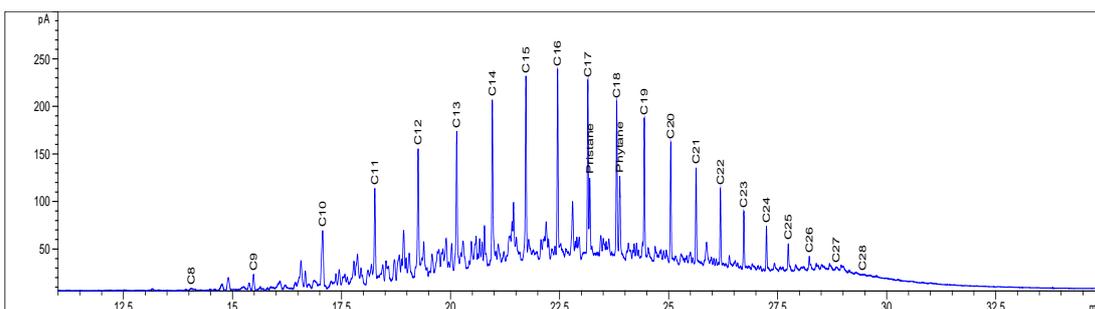
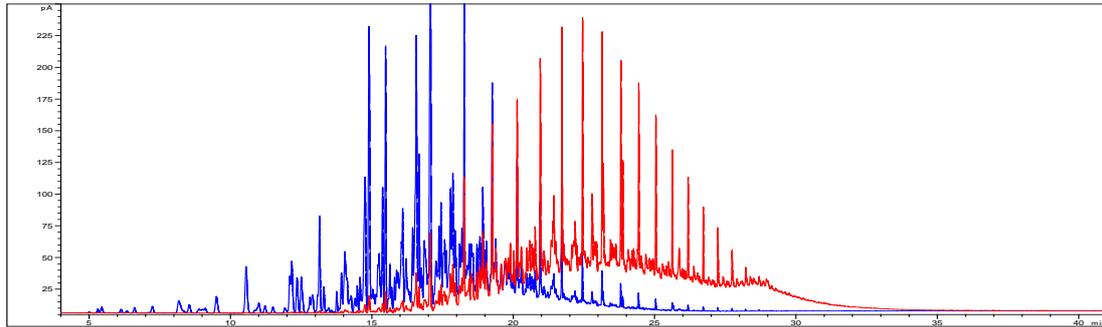


Ilustración 8: Huella Comparativa Fracción Pesada vs Fracción Ligera del GO después de la destilación



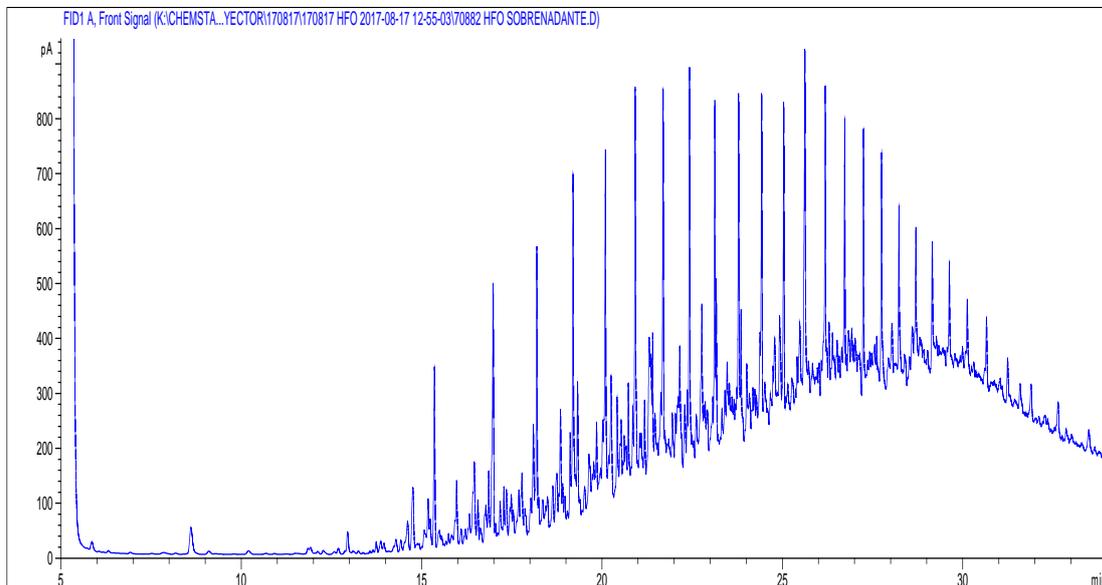
Comentarios:

En el gasóleo con una temperatura de punto inicial de destilación de 170°C, hubo que calentar el producto hasta 202°C para destilar el 10% del Gas Oil. Fundamentalmente se han eliminado las parafinas e iso parafinas en el rango C₉ a C₁₂ y aproximadamente un 3% de hidrocarburos de mayor peso molecular hasta C₁₈.

No obstante, se realizó el ensayo de inflamabilidad en suelo mixto contaminado con un 10% de gasóleo virgen antes de destilarlo para comprobar si el Flash Point era inferior a 75°C en vaso abierto y a 55°C en vaso cerrado.

9.4 Huella del Fuel Oil sin mezcla

Ilustración 9 : Huella del FO

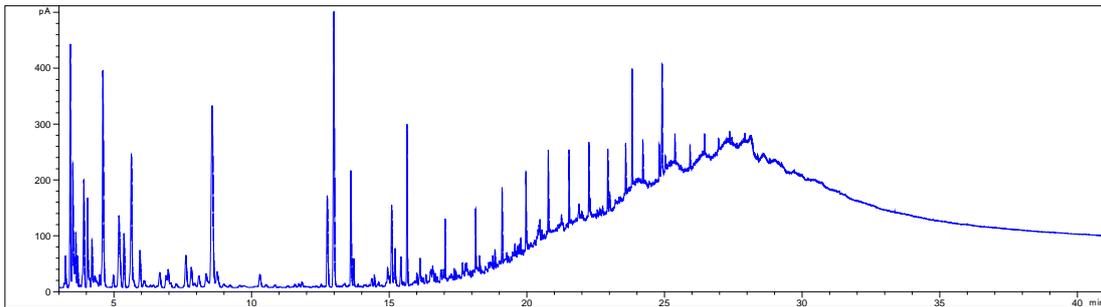


Comentarios:

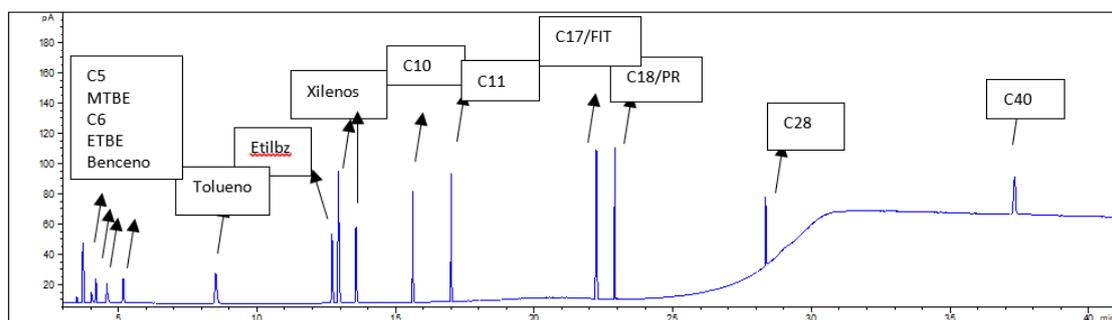
En el cromatograma anterior se observa la huella de un HFP (Heavy Fuel Oil) que se correspondería con un Fuelóleo nº2 de las especificaciones del BOE

9.5 Huella de la mezcla 1:1:1

Ilustración 10: Huella de la mezcla 1:1:1



Marcadores de la Huella Hidrocarburos



10 Procedimiento

Dada la alta degradabilidad de algunos hidrocarburos, se consideró conveniente realizar el estudio con muestras recién contaminadas puesto que se conoce la concentración de cada carburante presente en el suelo y se pueden correlacionar **Concentración vs Temperatura de Inflamabilidad**.

Carece de sentido someter posteriormente a degradación las muestras de suelo porque requeriría realizar previamente el análisis de hidrocarburos presentes (TPH y BTEX) en cada una de ellas. Con los datos obtenidos de las muestras recién contaminadas se puede extrapolar el estudio a muestras reales, porque lo que nos interesa conocer es la relación Concentración vs Inflamabilidad, esté degradado o no el carburante presente.

Una vez seleccionado y preparado el suelo, se contaminó con los porcentajes en volumen de carburantes seleccionados indicados en la siguiente tabla:

Porcentajes de contaminante					
% vol	Gasolina	GO	FO	GO + FO	Mezcla 1:1:1
10	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X
2,5	X	X	X	X	X
1	X	X	X	X	X
0,25	X				X

Porcentajes de contaminante					
% vol	Gasolina	GO	FO	GO + FO	Mezcla 1:1:1
0,1	x				x
0,01	x				x

Para realizar el ensayo en vaso abierto se utilizó el método ASTM D92 y para en ensayo en vaso cerrado se utilizó el método ASTM D93 descritos ambos anteriormente.

Los límites establecidos para determinar si la muestra es inflamable o no, son los siguientes:

No inflamables: Flash Point > 75 °C en vaso abierto y Flash Point >55°C en vaso cerrado

Conforme a los límites establecidos para cada categoría en la tabla 2.6.1 del REGLAMENTO (CE) No 1272/2008 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO (ver tabla en la pg 1 de este informe)

La **gasolina** será clasificada como **categoría 1** si Punto de inflamación < 23 °C y el **gasóleo** será clasificado como **categoría 3** si el punto de inflamación se encuentra **entre ≥ 55 °C y ≤ 75 °C**.

Y que es conforme con el Real Decreto 1088/2010, de 3 de septiembre (transposición a la legislación española de la norma EN 590), por el que se modifica el Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, en lo relativo a las especificaciones técnicas de gasolinas, gasóleos, utilización de biocombustibles y contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo.

11 Resultados de ensayos de Inflamabilidad

En las tablas siguientes se muestran los resultados obtenidos expresados en °C.

- En la primera columna se indica el porcentaje de contaminación, en cada tipo de suelo, y de cada uno de los cinco contaminantes.
- Para cada contaminante se reportan los resultados en °C de:
 - El ensayo en vaso abierto, indicado como COC (Cleveland Open Cup).
 - El ensayo en vaso cerrado, indicado como PM (Pensky-Martens Closed Cup).
- Para cada contaminante se marcan las celdas en:
 - Amarillo: La concentración más baja a la que se produce el Flash Point PM <65°C.
 - Naranja: La concentración más baja a la que se produce el Flash Point tanto en PM <65°C como en COC <75°C.
 - Blanco: Concentraciones consideradas como No Inflamables.
 - Verde: Concentraciones a las que se ha realizado el ensayo de BTEX y TPH.
- No se han realizado los ensayos de inflamabilidad a suelos con concentraciones < 1% de Gas Oil y Fuel Oil ya que concentraciones inferiores no son inflamables.

- El ensayo de vaso cerrado PM se abortaba si a temperaturas >100°C no era inflamable.
- El ensayo de vaso abierto COC se abortaba si a temperaturas >200°C no era inflamable.

Contaminante	GASOLINA		GASOIL		FUELOIL		GASOLEO / FOIL		1.1:1	
	COC	PM	COC	PM	COC	PM	COC	PM	COC	PM
10%	50	< 20	154	>100	172	>100	165	>100	80	<20
3%	62	< 20	>200	>100	>200	>100	>200	>100	96	<20
2,5%	98	< 20	>200	>100	>200	>100	>200	>100	106	<20
1%	176	27	>200	>100	>200	>100	>200	>100	>200	28
0,25%	>200	39	SUELO ARENOSO						>200	>100
0,10%	>200	>100							>200	>100
0,01%	>200	>100							>200	>100
	>200	>100							>200	>100

Contaminante	GASOLINA		GASOIL		FUELOIL		GASOLEO / FOIL		1.1:1	
	COC	PM	COC	PM	COC	PM	COC	PM	COC	PM
10%	54	<20	184	>100	>200	>100	>200	>100	94	<20
3%	59	<20	>200	>100	>200	>100	>200	>100	126	<20
2.5%	94	<20	>200	>100	>200	>100	>200	>100	>200	<20
1%	>200	<20	>200	>100	>200	>100	>200	>100	>200	30
0,25%	>200	30	SUELO ARCILLOSO						>200	>100
0,10%	>200	>100							>200	>100
0,01%	>200	>100							>200	>100
	>200	>100							>200	>100

Contaminante	GASOLINA		GASOIL		FUELOIL		GASOLEO / FOIL		1.1:1	
	COC	PM	COC	PM	COC	PM	COC	PM	COC	PM
10%	47	<20	146	>100	>200	>100	>200	>100	90	<20
3%	62	<20	>200	>100	>200	>100	>200	>100	110	<20
2.5%	87	<20	>200	>100	>200	>100	>200	>100	140	<20
1%	158	<20	>200	>100	>200	>100	>200	>100	>200	29
0,25%	>200	35	SUELO MIXTO						>200	>100
0,10%	>200	>100							>200	>100
0,01%	>200	>100							>200	>100
	>200	>100							>200	>100

- La incertidumbre asociada a cada ensayo es la siguiente:
 - El ensayo en vaso abierto, indicado como COC (Cleveland Open Cup)
 $\bar{u} = \pm 8^{\circ}\text{C}$
 - El ensayo en vaso cerrado, indicado como PM (Pensky-Martens Closed Cup)
 $\bar{u} = \pm 4^{\circ}\text{C}$
- La incertidumbre expandida indicada se basa en una incertidumbre típica multiplicada por un factor de cobertura $K=2$.
- No es necesario aplicar los criterios de la norma ISO 4259 referente a la *determinación y aplicación de los datos de precisión en relación a los métodos de ensayo*.

Aparte de estos ensayos, se realizaron ensayos de inflamabilidad en Suelo mixto contaminado con:

- Un 0,01 % de gasolina virgen sin destilar para comprobar si el Flash Point era inferior a 75°C en vaso abierto y a 55°C en vaso cerrado, obteniendo los resultados siguientes:

Gasolina virgen en SUELO MIXTO		
% Contaminante	COC	PM
0,01%		

- Un 0,1% de gasolina virgen sin destilar para comprobar si el Flash Point era inferior a 75°C en vaso abierto y a 55°C en vaso cerrado, obteniendo los resultados siguientes:

Gasolina virgen en SUELO MIXTO		
% Contaminante	COC	PM
0,10%		

- Un 10% de gasóleo virgen antes de destilarlo para comprobar si el Flash Point era inferior a 75°C en vaso abierto y a 55°C en vaso cerrado, obteniendo los resultados siguientes:

GASOIL en SUELO MIXTO		
% Contaminante	COC	PM
10%	150	98

Comentarios:

- Se observa que el **tipo de suelo no influye significativamente** en la temperatura de inflamabilidad, cuando se le contamina con los diferentes contaminantes.
- Un suelo contaminado con una concentración de **gasolina virgen inferior a 0,1 % no es inflamable**.
- Un suelo confinado en un **recipiente cerrado** que contenga **más de 2500 ppm de gasolina** es inflamable.
- Un suelo confinado en un **recipiente cerrado** que contenga **más de 1% de mezcla de hidrocarburos en la que el contenido de gasolina es > 2500 ppm** es inflamable.
- Un suelo, en un **espacio abierto o cerrado**, que contenga **más de un 3% de gasolina** es inflamable.
- Un suelo contaminado con una concentración de **gasóleo virgen inferior a 10 % no es inflamable**
- En los casos anteriores se considera que **es inflamable a temperaturas inferiores a 55°C en vaso cerrado o 75°C en vaso abierto, si se acerca a la superficie una fuente de ignición (eléctrica o llama)**.

Para completar el estudio, se realizó el análisis cromatográfico de TPH y BTEX en aquellas muestras con la concentración más baja que sea inflamable.

Suelo	% Gasolina	% Mezcla 1:1:1
arenas	1	10
arcillas	0,25	10
mezcla	0,25	10

12 Resultados de ensayos de BTEX

Ensayo	Unidades	Método	ū	suelo arena		suelo arcilla		suelo mezcla	
				1% Gna	10% mezcla 1:1:1	0,25% Gna	10% mezcla 1:1:1	0,25% Gna	10% mezcla 1:1:1
COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES									
Benceno	% m/m	EPA 8260C	±45%	9,0	455,9	36,6	1.508,7	7,4	541,9
Tolueno	% m/m	EPA 8260C	±48%	345,0	2.176,9	434,3	3.523,2	177,5	3.196,2
Etilbenceno	% m/m	EPA 8260C	±47%	127,0	771,9	82,8	1.121,6	62,8	891,5
Xilenos (Suma máx.)	% m/m	EPA 8260C	±42%	671,2	3.956,8	386,9	5.768,6	296,1	5.775,8
m, p-Xilenos	% m/m	EPA 8260C	±42%	482,9	2.184,1	287,1	3.151,3	215,9	2.562,1
o-Xileno	% m/m	EPA 8260C	±44%	188,3	1.772,7	99,9	2.617,2	80,2	2.013,1
BTEX Totales (Suma máx.)	% m/m	EPA 8260C	---	1.152,1	7.361,5	937,7	11.922,1	543,7	9.024,8
MTBE	% m/m	EPA 8260C	±39%	48,6	1,1	73,9	2,6	75,8	1,2
ETBE	% m/m	EPA 8260C	±37%	324,8	24,5	333,0	62,8	367,7	23,3

Incertidumbre = ū

13 Resultados de ensayos de TPH

Ensayo	Unidad	Método	\bar{u}	suelo arena		suelo arcilla		suelo mezcla	
				1% Gna	10% mezcla 1:1:1	0,25% Gna	10% mezcla 1:1:1	0,25% Gna	10% mezcla 1:1:1
HIDROCARBUROS									
Hidrocarburos C6-C10 (no incluye ETBE)	mg/kg	EPA 8015D	±49%	6.900	34.085	1.885	28.865	2.118	30.707
Hidrocarburos C10-C40	mg/kg	EPA 8015D	±45%	380	57.839	20	48.981	17	52.107
ALIFÁTICOS Y AROMÁTICOS									
Alifáticos >C5-C6 (no incluye MTBE)	mg/kg	EPA 8015D	±49%	10	2.469	5	2.091	62	2.224
Alifáticos >C6-C8 (no incluye ETBE)	mg/kg	EPA 8015D	±45%	790	18.626	260	15.773	303	16.780
Alifáticos >C8-C10	mg/kg	EPA 8015D	±47%	1.250	8.220	300	6.961	103	7.405
Alifáticos >C10-C12	mg/kg	POE01	±45%	61	1.655	5	1.402	5,04	1491
Alifáticos >C12-C16	mg/kg	POE01	±45%	25	9.311	1	7.885	0,47	8.388
Alifáticos >C16-C21	mg/kg	POE01	±45%	< 0,05	9.314	< 0,05	7.888	< 0,05	8.391
Alifáticos >C21-C36	mg/kg	POE01	±45%	< 0,05	6.593	< 0,05	5.584	< 0,05	5.940
Aromáticos >C6-C8 (Suma máx.)	mg/kg	EPA 8260C	±49%	930	3.216	306	2.723	718,65	2897
Aromáticos >C8-C10 (Suma máx.)	mg/kg	EPA 8260C	±42%	3.876	9.214	1.006	7.803	902	8.301
Aromáticos >C10-C12	mg/kg	POE01	±45%	210	5.087	13	4.308	10,19	4.583
Aromáticos >C12-C16	mg/kg	POE01	±45%	51	11.340	0,53	9.603	0,67	10.216
Aromáticos >C16-C21	mg/kg	POE01	±45%	< 0,05	10.256	< 0,05	8.686	< 0,05	9.240
Aromáticos >C21-C36	mg/kg	POE01	±45%	< 0,05	3.252	< 0,05	2.754	< 0,05	2930

Incertidumbre = \bar{u}

Debe tenerse en cuenta que los resultados que aparecen en la tabla anterior están expresados en peso (ppm) cuando la contaminación se hizo en volumen.

Para valorar la eficacia de la extracción debe tenerse en cuenta la densidad de los contaminantes. Un ejemplo sería:

- Gasolina 0,75 g/cm³
- Gasóleo 0,82 g/cm³
- Fuel: 0,95 g/cm³

En las páginas siguientes se presentan los cromatogramas correspondientes de GRO (hidrocarburos C6-C10) y DRO (hidrocarburos C10-C40).

(SUELO ARENOSO 1% Gasolina)

Ilustración 11: GRO 1% Gna en suelo arenoso

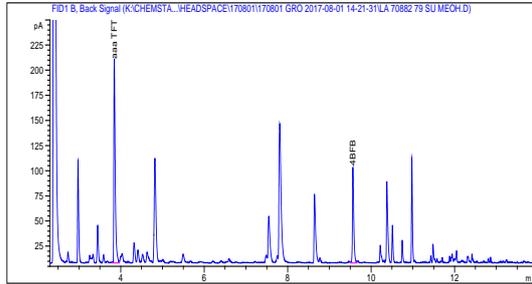
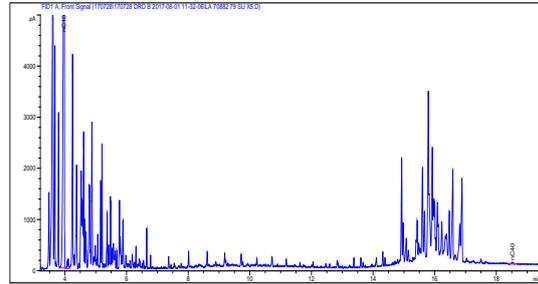


Ilustración 12: DRO 1% Gna en suelo arenoso



(SUELO MIXTO 0.25% Gasolina)

Ilustración 13: GRO 0,25% Gna Suelo mixto

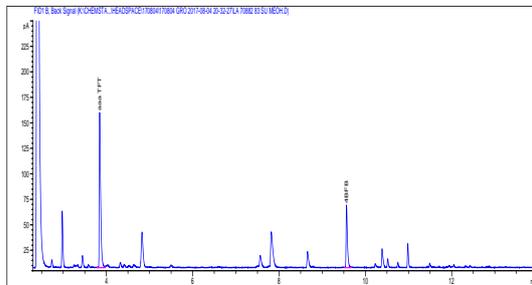
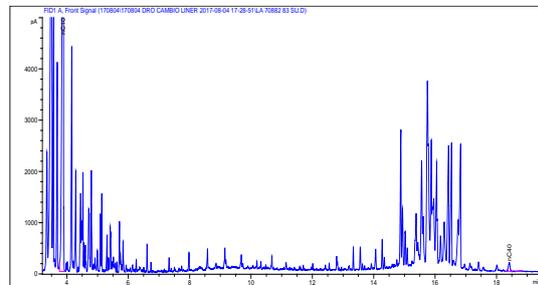


Ilustración 14: DRO 0,25% Gna Suelo mixto



(SUELO ARCILLOSO 0.25% Gasolina)

Ilustración 16: GRO 0,25% Gna suelo arcilloso

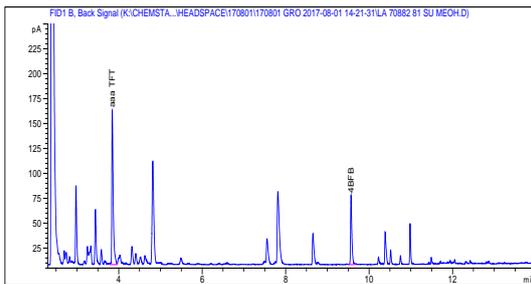
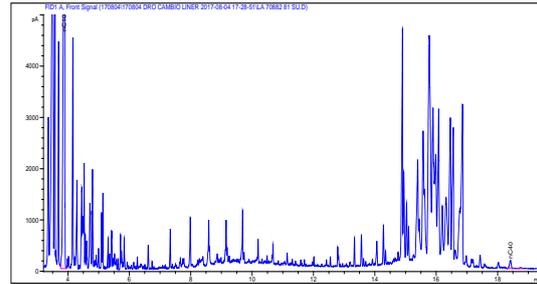


Ilustración 15: DRO 0,25% Gna suelo arcilloso



En la cola de las huellas del DRO se observan unos picos que no corresponden a hidrocarburos de la gasolina, si no a materia orgánica presente en el sustrato con el que se mezcló el suelo, como se puede comprobar en la huella cromatográfica siguiente (Ilustración 17):

Ilustración 18: Blanco Sustrato

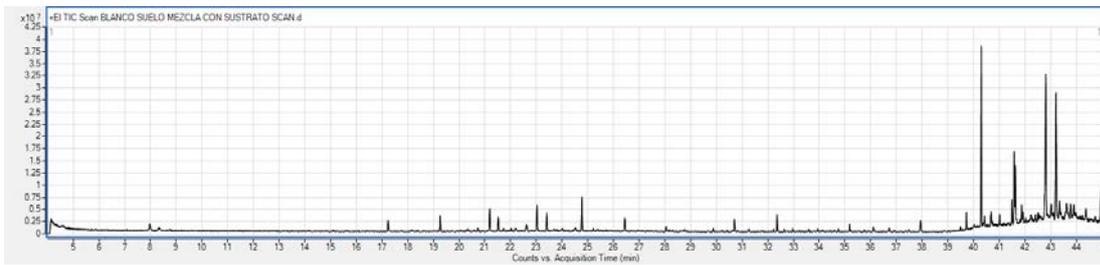


Ilustración 19: Blanco Suelo Arenoso

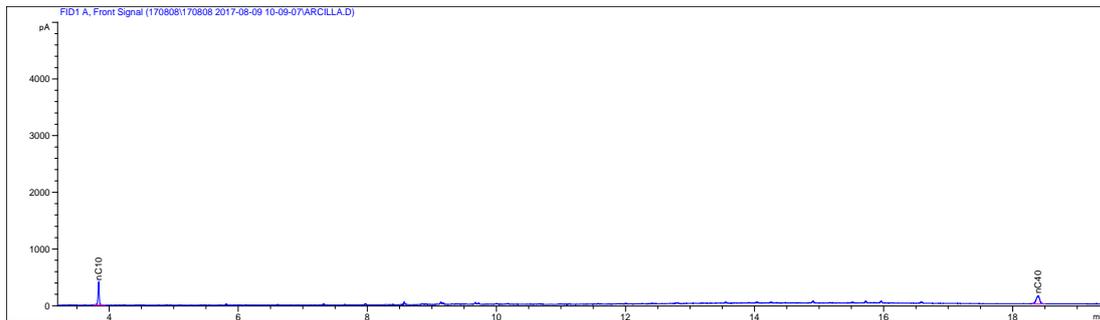
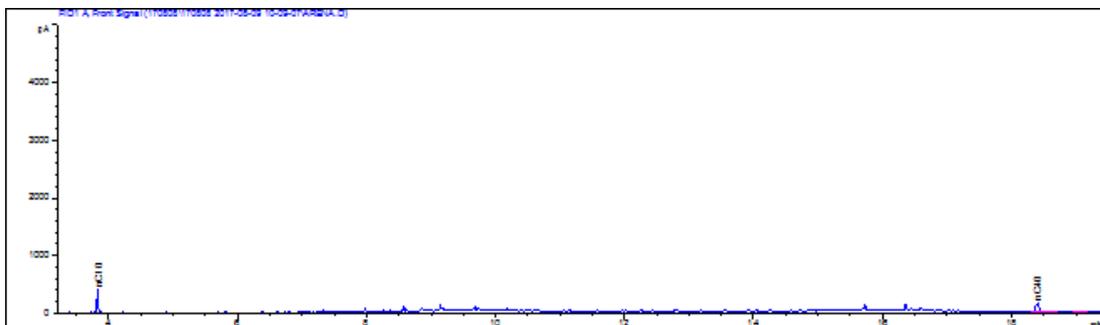


Ilustración 20: Blanco Suelo Arcilloso



Como se observan en los dos blancos anteriores (ilustraciones 18 y 19), ni el suelo arenoso, ni el suelo arcilloso presenta picos de materia orgánica en la cola del cromatograma, como el que presenta el cromatograma del sustrato.

(SUELO ARENOSO 10% mezcla 1:1:1)

Ilustración 21: GRO 10% mezcla en suelo arenoso

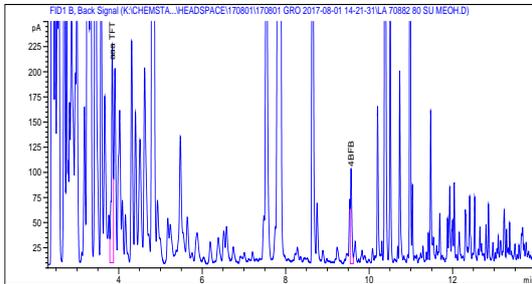
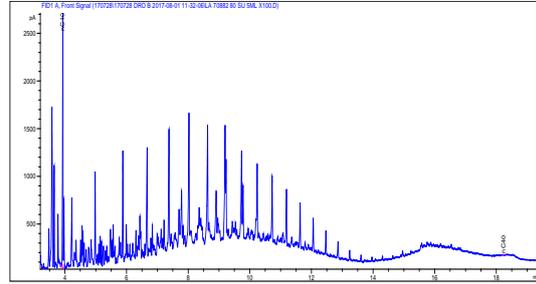


Ilustración 22: DRO 10% mezcla en suelo arenoso



(SUELO ARCILLOSO 10% mezcla 1:1:1)

Ilustración 23: GRO 10% mezcla en suelo arcilloso

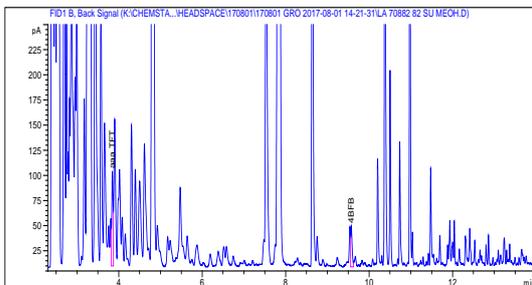
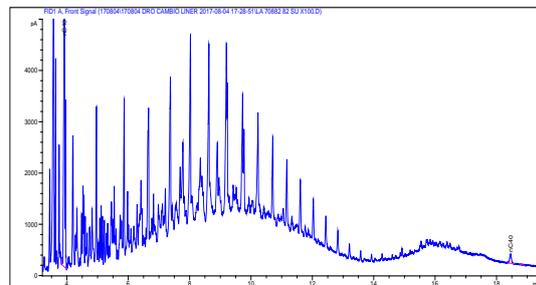


Ilustración 24: DRO 10% mezcla en suelo arcilloso



(SUELO MIXTO 10% mezcla 1:1:1)

Ilustración 25: GRO 10% mezcla en suelo mixto

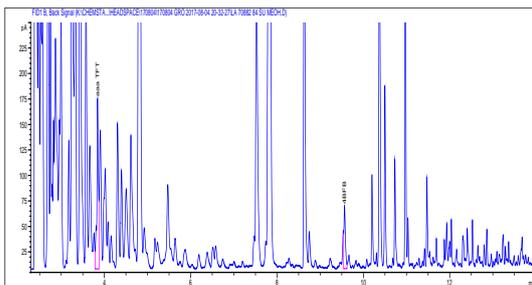
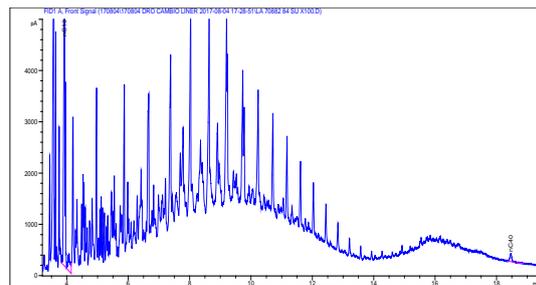


Ilustración 26: DRO 10% mezcla en suelo mixto



14 Comentarios generales

Ante la potencial pregunta de, si se ha destilado el 10% de la gasolina calentándola hasta 54°C y se supone *a priori* que hemos eliminado hasta <C₆, ¿por qué se inflama la fracción pesada en el suelo entre 28 y 40°C en vaso cerrado, si el punto de inicial de ebullición del nC₆ es 68,7°C, es decir no comienza a destilar hasta esa temperatura?

Se podrían dar varias respuestas:

La más sencilla es que como se observa en la [ilustración 3](#), en la fracción pesada de la destilación del 10% de la gasolina, realmente no se ha eliminado completamente todos los componentes <C6 y simplemente la mínima presencia de ellos podría provocar el flash point a las temperaturas señaladas.

Isómeros C ₅ H ₁₂	Puntos de ebullición °C	
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	36,1	Los alcanos que se presentan a la izquierda tienen el mismo número de carbonos pero sus puntos iniciales de ebullición son distintos.
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	27,8	Esto se debe a que la superficie efectiva de contacto entre dos moléculas disminuye cuanto más ramificadas sean éstas.
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	9,5	Las fuerzas intermoleculares son menores en los alcanos ramificados por ello tienen

puntos de ebullición más bajos y son los primeros que se destilan quedando restos de las cadenas lineales.

Pero además, se ha de tener en cuenta que:

Aunque siempre hablamos de líquidos inflamables, no es el estado líquido sino el vapor el que es inflamable. Solamente el vapor puede formar una mezcla inflamable con el oxígeno del aire. Tanto la volatilidad del vapor como su nivel inferior de explosión (LEL) son una medida para el riesgo de explosión. Las propiedades de la volatilidad y el LEL se relacionan entre sí por el punto de inflamación.

El punto de inflamación (FP) significa básicamente la temperatura más baja a la que un vapor suficiente de ese líquido puede formar una mezcla inflamable en el aire al acercarse a una fuente de ignición.

Punto inicial de ebullición (B.P.) es la temperatura en la que la presión de vapor de la superficie de un líquido es igual a la presión de su entorno, y el líquido se transforma en vapor.

Tanto el FP como el BP están relacionados con un concepto común, la presión de vapor que se define como la presión ejercida por un vapor en equilibrio termodinámico con su fase líquida a una temperatura dada en un sistema cerrado.

En otras palabras, el punto inicial de ebullición es cuando la presión de vapor es igual a la presión atmosférica y el punto de inflamación es cuando la relación entre la presión atmosférica y la presión de vapor corresponde a la relación requerida para encender el combustible. Esto significa que la evaporación es lo suficientemente grande como para crear una mezcla inflamable en el aire.

Hay que tener en cuenta que la evaporación y la ebullición son dos cosas diferentes; Evaporación es el proceso cuando un líquido se convierte en gas a cualquier temperatura mientras que la ebullición es el proceso cuando un líquido se convierte en gas en un punto fijo

Por ello, cuando se destila un producto puro, la temperatura del líquido no se modifica hasta que se haya destilado todo el producto.

Para ilustrarlo anterior, se muestra a continuación una tabla con las temperaturas de FP y BP de varios productos. Ref: " *Handbook of Thermodynamic and Physical Properties of Chemical Compounds*"

Table 1	flash point	boiling point
Name of compound	°C	°C
benzene	-11	79
1-butanol	35	117
2-butanol	26	98
2-butanone	-3	80
Decane	46	174
Dodecane	71	216
Ethyl alcohol	12	79
Ethyl benzene	22	136
Heptane	-1	98
Hexane	-23	69
2-hexanol	41	135
Nonane	31	151
1-nonene	46	146
Octane	15	127
Toluene	4	111
o-xylene	32	145
M-xylene	25	139
P-xylene	27	138

En esta tabla podemos observar que el punto de inflamación (FP) es significativamente más bajo que el punto inicial de ebullición (BP).

Por ejemplo, los xilenos tienen un FP entre 25 y 32°C cuando su punto inicial de ebullición se encuentra entre 138 y 145°C

15 Conclusiones

Un residuo peligroso muestra características de inflamabilidad si presenta alguna de las siguientes propiedades:

1. El material es un líquido, pero no es una disolución acuosa, que contiene menos de un 24% de alcohol en volumen y presenta un punto de inflamación a temperatura <60°C según el ensayo propuesto de Contaminación de suelos a partir de residuos peligrosos por la norma ASTM D-93 (o métodos EPA 1010 ó 1020).

2. El material no es líquido y es capaz en condiciones estándar de presión y temperatura de producir fuego por fricción, absorción de humedad, o cambios químicos espontáneos, y, cuando arde lo hace de forma violenta y persistente creando un riesgo.

Ninguno de los dos casos anteriores son aplicables, pero si consideramos el suelo como residuo y queremos determinar la propiedad HP₃ relativa a la inflamabilidad, utilizando los métodos aplicables en el mundo del petróleo, observamos que:

- Se observa que el **tipo de suelo no influye significativamente** en la temperatura de inflamabilidad, cuando se le contamina con los diferentes contaminantes.
- El derrame de gasolina fácilmente se evapora hasta un 80%.
- En este estudio se ha utilizado una gasolina destilada, eliminando el 10%.
- Un suelo contaminado con una concentración de **gasolina virgen inferior a 0,1 % no es inflamable**.
- Un suelo confinado en un **recipiente cerrado** que contenga **más de 2500 ppm de gasolina** es inflamable.
- Un suelo confinado en un **recipiente cerrado** que contenga **más de 1% de mezcla de hidrocarburos en la que el contenido de gasolina es > 2500 ppm** es inflamable.
- Un suelo, en un **espacio abierto o cerrado**, que contenga **más de un 3% de gasolina** es inflamable.
- Un suelo contaminado con una concentración de **gasóleo virgen inferior a 10 % no es inflamable**
- En los casos anteriores se considera que **es inflamable a temperaturas inferiores a 55°C en vaso cerrado o 75°C en vaso abierto, si se acerca a la superficie una fuente de ignición (eléctrica o llama)**.

16 Lista de cromatogramas

ILUSTRACIÓN 1: HUELLA DE LA GASOLINA ANTES DE LA DESTILACIÓN	18
ILUSTRACIÓN 2 HUELLA DE LA FRACCIÓN LIGERA DE LA GASOLINA DESPUÉS DE LA DESTILACIÓN	18
ILUSTRACIÓN 3: HUELLA DE LA FRACCIÓN PESADA DE LA GASOLINA DESPUÉS DE LA DESTILACIÓN.....	18
ILUSTRACIÓN 4: HUELLA COMPARATIVA FRACCIÓN PESADA VS FRACCIÓN LIGERA DE LA GASOLINA DESPUÉS DE LA DESTILACIÓN	19
ILUSTRACIÓN 5: HUELLA DEL GO ANTES DE LA DESTILACIÓN	19
ILUSTRACIÓN 6: HUELLA DE LA FRACCIÓN LIGERA DEL GO DESPUÉS DE LA DESTILACIÓN	19
ILUSTRACIÓN 7: HUELLA DE LA FRACCIÓN PESADA DEL GO DESPUÉS DE LA DESTILACIÓN	19
ILUSTRACIÓN 8: HUELLA COMPARATIVA FRACCIÓN PESADA VS FRACCIÓN LIGERA DEL GO DESPUÉS DE LA DESTILACIÓN	20
ILUSTRACIÓN 9 : HUELLA DEL FO	20
ILUSTRACIÓN 10: HUELLA DE LA MEZCLA 1:1:1	21

<i>ILUSTRACIÓN 11: GRO 1% GNA EN SUELO ARENOSO</i>	28
<i>ILUSTRACIÓN 12: DRO 1% GNA EN SUELO ARENOSO</i>	28
<i>ILUSTRACIÓN 13: GRO 0,25% GNA SUELO MIXTO</i>	28
<i>ILUSTRACIÓN 14: DRO 0,25% GNA SUELO MIXTO</i>	28
<i>ILUSTRACIÓN 15: GRO 0,25% GNA SUELO ARCILLOSO</i>	28
<i>ILUSTRACIÓN 16: DRO 0,25% GNA SUELO ARCILLOSO</i>	28
<i>ILUSTRACIÓN 17: BLANCO SUSTRATO</i>	29
<i>ILUSTRACIÓN 18: BLANCO SUELO ARENOSO</i>	29
<i>ILUSTRACIÓN 19: BLANCO SUELO ARCILLOSO</i>	29
<i>ILUSTRACIÓN 20: GRO 10% MEZCLA EN SUELO ARENOSO</i>	30
<i>ILUSTRACIÓN 21: DRO 10% MEZCLA EN SUELO ARENOSO</i>	30
<i>ILUSTRACIÓN 22: GRO 10% MEZCLA EN SUELO ARCILLOSO</i>	30
<i>ILUSTRACIÓN 23: DRO 10% MEZCLA EN SUELO ARCILLOSO</i>	30
<i>ILUSTRACIÓN 24: GRO 10% MEZCLA EN SUELO MIXTO</i>	30
<i>ILUSTRACIÓN 25: DRO 10% MEZCLA EN SUELO MIXTO</i>	30