

INFORME ESTUDIO ANALÍTICO: CARACTERIZACIÓN DE
SUELOS COMO RESIDUOS INFLAMABLES (HP₃) EN FUNCIÓN
DEL CONTENIDO EN COMPONENTES DE: BTEXS – ALIFÁTICOS
C₆Y C₇ - ESTIRENO

2020



EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

Residuos

Informe Estudio Analítico: Caracterización de suelos como RESIDUOS INFLAMABLES (HP3) en función del contenido en Componentes de: BTEXs – Alifáticos C6 y C7 - Estireno

2020

Fecha	Febrero de 2020
Autor	Gobierno Vasco, en colaboración con su Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Ihobe, S.A. e Intertek, S.A.
Propietario	Gobierno Vasco



www.euskadi.eus

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	4
2	OBJETIVO	4
3	PLANTEAMIENTO	5
4	METODOLOGÍA APLICABLE:	5
4.1	REGLAMENTADAS	6
4.1.1	<i>Reglamento 1272/2008</i>	6
4.1.2	<i>Reglamento nº 440/2008</i>	6
4.2	ECHA Y GUÍA BRITÁNICA.....	6
4.3	PROPUESTA DE ESTE ESTUDIO	7
5	MÉTODOS DE INFLAMABILIDAD APLICADOS EN EL ESTUDIO	7
5.1	ASTM D 93.....	7
5.1.1	<i>Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester</i>	7
5.2	ASTM D 92	8
5.2.1	<i>Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester</i>	8
6	SUELOS	9
7	PROCEDIMIENTO	10
8	RESULTADOS DE ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD	10
A.-	PRIMEROS ENSAYOS	11
B.-	BÚSQUEDA LÍMITES PELIGROSIDAD POR INFLAMABILIDAD HP ₃	16
8.1.1	<i>ETILBENCENO</i>	17
8.1.2	<i>XILENOS</i>	18
9	CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS	20
10	CONCLUSIONES	23
10.1	.....	24
10.2	.....	24
10.3	.....	24
10.4	.....	24
10.5	.....	25
10.6	.....	25
10.7	.....	25
11	TERMINOLOGÍA Y DEFINICIONES:	25
12	OTROS DATOS	26
12.1	ETILBENCENO	26
12.2	XILENOS (MEZCLA DE ISÓMEROS)	27

1 INTRODUCCIÓN

Este estudio se lleva a cabo, como consecuencia de la publicación del REGLAMENTO (UE) N° 1357/2014 DE LA COMISIÓN de 18 de diciembre de 2014 que modifica el anexo III de la directiva 2008/98/CE que establece las categorías de peligrosidad y los límites de concentración que determinan la peligrosidad de los residuos, estableciendo la inflamabilidad (HP3) como una de las características que permiten clasificar el residuo como peligroso.

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 OBJETIVO

El Reglamento (UE) N° 1357/2014 DE LA COMISIÓN de 18 de diciembre de 2014 considera que la simple presencia de un hidrocarburo en un residuo es suficiente para categorizarlo como inflamable, y por tanto peligroso por HP3.

El problema surge cuando esta clasificación se aplica a residuos que son suelos potencialmente contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo.

El objetivo de este proyecto es establecer la concentración mínima de BTEXs, Hexano, Heptano o Estireno que realmente producen la inflamabilidad en un suelo.

3 PLANTEAMIENTO

Tal y como se ha planteado anteriormente, debido a la naturaleza inflamable de los productos que se van a analizar en este estudio se considera que la sola presencia de estos categorizaría el suelo como peligroso por inflamabilidad HP3. Con este proyecto se pretende determinar los límites de concentración en los que realmente se produce la inflamabilidad en las condiciones del ensayo.

Para ello se seleccionaron suelos estándares y se contaminaron con las sustancias mencionadas anteriormente en una proporción correspondiente a la concentración mínima que clasifica el residuo como peligroso en cada caso, realizándose el ensayo de inflamabilidad para conocer si en esas concentraciones resultaban realmente inflamables.

Suelo	Benceno	Tolueno	Xileno(mezcla)	Etilbenceno	Hexano	Heptano	Estireno
Arena	1.000 ppm (0,1% HP7, HP11)	30.000 ppm (3% HP10)	200.000 ppm (20% HP4)	100.000 ppm (10% HP5)	25.000 ppm (2,5% HP14)	2.500 ppm (0,25% HP14)	10.000 ppm (1% (HP4 H319, HP6 H332)
Arcilla	1.000 ppm (0,1% HP7, HP11)	30.000 ppm (3% HP10)	200.000 ppm (20% HP4)	100.000 ppm (10% HP5)	25.000 ppm (2,5% HP14)	2.500 ppm (0,25% HP14)	10.000 ppm (1(HP4 H319, HP6 H332)
Mezcla 1:1	1.000 ppm (0,1% HP7, HP11)	30.000 ppm (3% HP10)	200.000 ppm (20% HP4)	100.000 ppm (10% HP5)	25.000 ppm (2,5% HP14)	2.500 ppm (0,25% HP14)	10.000 ppm (1% (HP4 H319, HP6 H332)

En el caso de que en estas concentraciones el suelo sea inflamable, se repetirán los ensayos disminuyendo la concentración hasta encontrar el límite de peligrosidad.

4 METODOLOGÍA APLICABLE:

A continuación, se señalan las diferentes opciones analíticas:

- 4.1 Las descritas en el Reglamento 1272/2008 y el Reglamento nº 440/2008
- 4.2 Las analíticas que aparecen en la ECHA y en la Guía Británica
- 4.3 La metodología normalizada propuesta en este proyecto.

4.1 Reglamentadas

4.1.1 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

4.1.2 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 intrínsecamente 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**

4.2 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), se indican los siguientes métodos para la determinación del Punto de Inflamación:

- 4.11 ISO 3679 Determinación del flash point – Pretratamiento de la muestra antes de realizar el siguiente ensayo
- 4.12 EN ISO 3680 Determinación del punto de inflamación mediante determinación pasa/no pasa. Método del equilibrio rápido en vaso cerrado, que 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.

4.3 PROPUESTA DE ESTE ESTUDIO

Independientemente de las metodologías posibles descritas en el apartado 4.1 y 4.2, Intertek propone realizar el estudio:

- con métodos internacionales en vaso abierto (ASTM D92) y en vaso cerrado (ASTM D93)
- en diferentes tipos de suelos y
- con los componentes solicitados

y determinar así los porcentajes de contaminante en cada tipo de suelo que producen Flash a temperatura ambiente (15 a 25°C).

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) N° 440/2008 DE LA COMISIÓN

Los resultados proporcionados por estos métodos de ensayo, pueden utilizarse como elementos para realizar una evaluación del riesgo de incendio en cada uno de los casos estudiados.

5 MÉTODOS DE INFLAMABILIDAD APLICADOS EN EL ESTUDIO

5.1 ASTM D 93

5.1.1 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 el registrado 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.



5.2 ASTM D 92

5.2.1 Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester

En este método el vapor situado por encima de la muestra de ensayo tiene una temperatura diferente a la de la muestra misma y por tanto no están en equilibrio de temperatura en el momento en que se aplica la fuente de ignición.

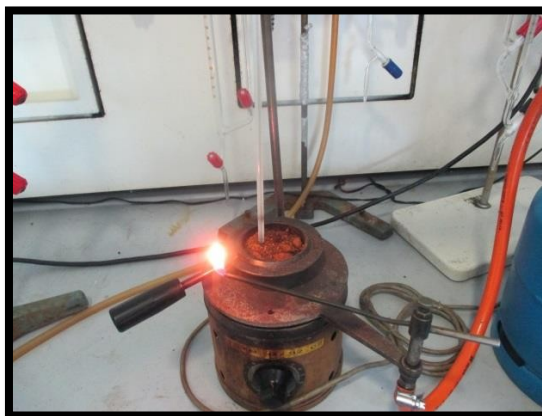
Esto es causado principalmente porque al ser método en vaso abierto el calentamiento de la muestra de ensayo a la velocidad prescrita constante es superior a la temperatura del vapor en la superficie de la probeta de prueba.

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



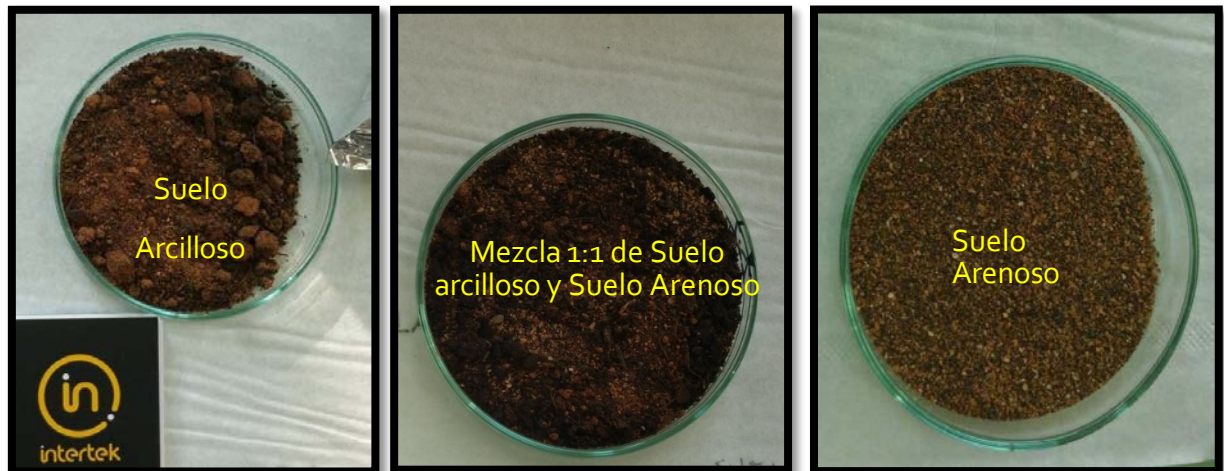
En nuestro laboratorio, la fuente de ignición de este método es una llama y no eléctrica como el anterior, y se ha tenido en cuenta que la aplicación de la llama de prueba puede causar un halo azul o una llama agrandada antes del punto de inflamación real. Esto no es un punto de inflamación y debe ser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



6 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



7 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**.

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

% contaminación en cada tipo de suelo							
%	0,10	0,25	1,00	2,50	3,00	10,00	20,00
Benceno	x						
Tolueno					x		
Etilbenceno						x	
Mezcla de xilenos							x
Hexano				x			
Heptano		x					
Estireno			x				

Para realizar el ensayo en vaso abierto se utilizó el método ASTM D92 y para el 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).

8 RESULTADOS DE ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD

A continuación, se exponen los resultados obtenidos, expresados en °C.

- En cada caso se indica el porcentaje de contaminación, tipo de suelo, y contaminante.
- Para cada contaminante se reportan los resultados en °C de:
 - El ensayo en vaso abierto, indicado como COC (Cleveland Open Cup). ASTM D92
 - El ensayo en vaso cerrado, indicado como PM (Pensky-Martens Closed Cup). ASTM D93

- Para cada contaminante se resaltan las celdas en:
 - Amarillo: La concentración más baja a la que se produce el Flash Point tanto en PM <math><65^{\circ}\text{C}</math> como en COC <math><75^{\circ}\text{C}</math>.
 - Blanco: Concentraciones consideradas como No Inflamables.
- 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*.

A.- Primeros Ensayos

SUELO ARENOSO	Muestra: LA-90223/01	
Muestra de Suelo Arenoso contaminada al 0,10 % de Benceno		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	$^{\circ}\text{C}$	>400
ASTM D93-18	$^{\circ}\text{C}$	>100

SUELO ARENOSO	Muestra: LA-90223/02	
Muestra de Suelo Arenoso contaminada al 3,00 % de Tolueno		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	$^{\circ}\text{C}$	>400
ASTM D93-18	$^{\circ}\text{C}$	>100

SUELO ARENOSO	Muestra: LA-90223/03	
Muestra de Suelo Arenoso contaminada al 10,00 % de Etilbenceno		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	30
ASTM D93-18	°C	20,5

SUELO ARENOSO	Muestra: LA-90223/04	
Muestra de Suelo Arenoso contaminada al 20,00 % de Mezcla de xilenos		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	36
ASTM D93-18	°C	19,5

SUELO ARENOSO	Muestra: LA-90223/05	
Muestra de Suelo Arenoso contaminada al 2,50 % de Hexano		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	>400
ASTM D93-18	°C	>100

SUELO ARENOSO	Muestra: LA-90223/06	
Muestra de Suelo Arenoso contaminada al 0,25 % de Heptano		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	>400
ASTM D93-18	°C	>100

SUELO ARENOSO	Muestra: LA-90223/19	
Muestra de Suelo Arenoso contaminada al 1% con estireno.		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	>106
ASTM D93-18	°C	32

SUELO ARCILLOSO	Muestra: LA-90223/07	
Muestra de Suelo Arcilloso contaminada al 0,10 % de Benceno		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	>400
ASTM D93-18	°C	>100

SUELO ARCILLOSO	Muestra: LA-90223/08	
Muestra de Suelo Arcilloso contaminada al 3,00 % de Tolueno		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	>400
ASTM D93-18	°C	>100

SUELO ARCILLOSO	Muestra: LA-90223/09	
Muestra de Suelo Arcilloso contaminada al 10,00 % de Etilbenceno		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	32
ASTM D93-18	°C	21

SUELO ARCILLOSO	Muestra: LA-90223/10	
Muestra de Suelo Arcilloso contaminada al 20,00 % de Mezcla de xilenos		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	26
ASTM D93-18	°C	15

SUELO ARCILLOSO	Muestra: LA-90223/11	
Muestra de Suelo Arcilloso contaminada al 2,50 % de Hexano		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	>400
ASTM D93-18	°C	>100

SUELO ARCILLOSO	Muestra: LA-90223/12	
Muestra de Suelo Arcilloso contaminada al 0,25 % de Heptano		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	>400
ASTM D93-18	°C	>100

SUELO ARCILLOSO	Muestra: LA-90223/20	
Muestra de Suelo Arcilloso contaminada al 1% con estireno.		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	>106
ASTM D93-18	°C	33

SUELO MEZCLA	Muestra: LA-90223/13	
Muestra de Suelo Mezcla 1:1 contaminada al 0,10 % de Benceno		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	>400
ASTM D93-18	°C	>100

SUELO MEZCLA	Muestra: LA-90223/14	
Muestra de Suelo Mezcla 1:1 contaminada al 3,00 % de Tolueno		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	>400
ASTM D93-18	°C	>100

SUELO MEZCLA	Muestra: LA-90223/15	
Muestra de Suelo Mezcla 1:1 contaminada al 10,00 % de Etilbenceno		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	25
ASTM D93-18	°C	16

SUELO MEZCLA	Muestra: LA-90223/16	
Muestra de Suelo Mezcla 1:1 contaminada al 20,00 % de Mezcla de xilenos		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	48
ASTM D93-18	°C	22

SUELO MEZCLA	Muestra: LA-90223/17	
Muestra de Suelo Mezcla 1:1 contaminada al 2,50 % de Hexano		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	>400
ASTM D93-18	°C	>100

SUELO MEZCLA	Muestra: LA-90223/18	
Muestra de Suelo Mezcla 1:1 contaminada al 0,25 % de Heptano		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	>400
ASTM D93-18	°C	>100

SUELO MEZCLA	Muestra: LA-90223/21	
Muestra de Suelo Mezcla contaminada al 1% con estireno.		
Método	Unidades	Resultado
ASTM D-92/02	°C	>96
ASTM D93-18	°C	33

B.- Búsqueda Límites peligrosidad por Inflamabilidad HP₃

A la vista de los resultados encontrados, se realizaron ensayos disminuyendo el nivel de concentración buscando el punto de no inflamabilidad, tanto para Etilbenceno como para la mezcla de xilenos. Fue necesario reducir hasta 0,05% en ambos productos para encontrar el límite de peligrosidad.

8.1.1 ETILBENCENO

RESULTADO °C	ENSAYO	METODO	% CONTAMINA	CONTAMINANTE	TIPO DE SUELO
28	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	5%	Etilbenceno	Suelo arenoso
25	Punto de inflamación	ASTM D93-18	5%	Etilbenceno	Suelo arenoso
30	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	4%	Etilbenceno	Suelo arenoso
24	Punto de inflamación	ASTM D93-18	4%	Etilbenceno	Suelo arenoso
30	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	3%	Etilbenceno	Suelo arenoso
23	Punto de inflamación	ASTM D93-18	3%	Etilbenceno	Suelo arenoso
36	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	2%	Etilbenceno	Suelo arenoso
28	Punto de inflamación	ASTM D93-18	2%	Etilbenceno	Suelo arenoso
42	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	1%	Etilbenceno	Suelo arenoso
30	Punto de inflamación	ASTM D93-18	1%	Etilbenceno	Suelo arenoso
>100	Punto de inflamación	ASTM D93-19	0,05%	Etilbenceno	Suelo arenoso
>100	Punto de inflamación	ASTM D93-20	0,05%	Etilbenceno	Suelo arenoso
38	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	5%	Etilbenceno	Suelo arcilloso
18	Punto de inflamación	ASTM D93-18	5%	Etilbenceno	Suelo arcilloso
28	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	4%	Etilbenceno	Suelo arcilloso
22	Punto de inflamación	ASTM D93-18	4%	Etilbenceno	Suelo arcilloso
32	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	3%	Etilbenceno	Suelo arcilloso
24	Punto de inflamación	ASTM D93-18	3%	Etilbenceno	Suelo arcilloso
34	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	2%	Etilbenceno	Suelo arcilloso
26	Punto de inflamación	ASTM D93-18	2%	Etilbenceno	Suelo arcilloso
38	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	1%	Etilbenceno	Suelo arcilloso
27	Punto de inflamación	ASTM D93-18	1%	Etilbenceno	Suelo arcilloso
>100	Punto de inflamación	ASTM D93-19	0,05%	Etilbenceno	Suelo arcilloso

RESULTADO °C	ENSAYO	METODO	% CONTAMINA	CONTAMINANTE	TIPO DE SUELO
>100	Punto de inflamación	ASTM D93-20	0,05%	Etilbenceno	Suelo arcilloso
34	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	5%	Etilbenceno	Suelo mezcla
22	Punto de inflamación	ASTM D93-18	5%	Etilbenceno	Suelo mezcla
45	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	4%	Etilbenceno	Suelo mezcla
20	Punto de inflamación	ASTM D93-18	4%	Etilbenceno	Suelo mezcla
48	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	3%	Etilbenceno	Suelo mezcla
20	Punto de inflamación	ASTM D93-18	3%	Etilbenceno	Suelo mezcla
49	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	2%	Etilbenceno	Suelo mezcla
25	Punto de inflamación	ASTM D93-18	2%	Etilbenceno	Suelo mezcla
50	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	1%	Etilbenceno	Suelo mezcla
30	Punto de inflamación	ASTM D93-18	1%	Etilbenceno	Suelo mezcla
58	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	0,10%	Etilbenceno	Suelo mezcla
46	Punto de inflamación	ASTM D93-18	0,10%	Etilbenceno	Suelo mezcla
>100	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	0,05%	Etilbenceno	Suelo mezcla
>100	Punto de inflamación	ASTM D93-18	0,05%	Etilbenceno	Suelo mezcla

8.1.2 XILENOS

RESULTADO	ENSAYO	METODO	% CONTAMINA	CONTAMINANTE	TIPO DE SUELO
36	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	5%	Xilenos	Suelo arenoso
34	Punto de inflamación	ASTM D93-18	5%	Xilenos	Suelo arenoso
34	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	4%	Xilenos	Suelo arenoso
38	Punto de inflamación	ASTM D93-18	4%	Xilenos	Suelo arenoso
42	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	3%	Xilenos	Suelo arenoso
25	Punto de inflamación	ASTM	3%	Xilenos	Suelo

RESULTADO	ENSAYO	METODO	% CONTAMINA	CONTAMINANTE	TIPO DE SUELO
		D93-18			arenoso
25	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	2%	Xilenos	Suelo arenoso
25	Punto de inflamación	ASTM D93-18	2%	Xilenos	Suelo arenoso
26	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	1%	Xilenos	Suelo arenoso
28	Punto de inflamación	ASTM D93-18	1%	Xilenos	Suelo arenoso
>100	Punto de inflamación	ASTM D93-19	0,05%	Xilenos	Suelo arenoso
>100	Punto de inflamación	ASTM D93-20	0,05%	Xilenos	Suelo arenoso
36	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	5%	Xilenos	Suelo arcilloso
38	Punto de inflamación	ASTM D93-18	5%	Xilenos	Suelo arcilloso
42	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	4%	Xilenos	Suelo arcilloso
44	Punto de inflamación	ASTM D93-18	4%	Xilenos	Suelo arcilloso
48	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	3%	Xilenos	Suelo arcilloso
22	Punto de inflamación	ASTM D93-18	3%	Xilenos	Suelo arcilloso
24	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	2%	Xilenos	Suelo arcilloso
25	Punto de inflamación	ASTM D93-18	2%	Xilenos	Suelo arcilloso
26	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	1%	Xilenos	Suelo arcilloso
32	Punto de inflamación	ASTM D93-18	1%	Xilenos	Suelo arcilloso
>100	Punto de inflamación	ASTM D93-19	0,05%	Xilenos	Suelo arcilloso
>100	Punto de inflamación	ASTM D93-20	0,05%	Xilenos	Suelo arcilloso
45	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	5%	Xilenos	Suelo mezcla
20	Punto de inflamación	ASTM D93-18	5%	Xilenos	Suelo mezcla
42	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	4%	Xilenos	Suelo mezcla
20	Punto de inflamación	ASTM D93-18	4%	Xilenos	Suelo mezcla
50	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	3%	Xilenos	Suelo mezcla

RESULTADO	ENSAYO	METODO	% CONTAMINA	CONTAMINANTE	TIPO DE SUELO
22	Punto de inflamación	ASTM D93-18	3%	Xilenos	Suelo mezcla
51	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	2%	Xilenos	Suelo mezcla
28	Punto de inflamación	ASTM D93-18	2%	Xilenos	Suelo mezcla
55	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	1%	Xilenos	Suelo mezcla
30	Punto de inflamación	ASTM D93-18	1%	Xilenos	Suelo mezcla
58	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	0,10%	Xilenos	Suelo mezcla
50	Punto de inflamación	ASTM D93-18	0,10%	Xilenos	Suelo mezcla
>100	Inflamabilidad Cleveland V/A #	ASTM D-92/02	0,05%	Xilenos	Suelo mezcla
>100	Punto de inflamación	ASTM D93-18	0,05%	Xilenos	Suelo mezcla

9 CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran como inflamables en cualquiera de los suelos utilizados:

- 10% de Etilbenceno y 20% de Xileno en suelo para ambas metodologías de determinación de la inflamabilidad, y
- 1% de Estireno cuando se analiza en vaso cerrado En la tabla siguiente se han marcado en amarillo.

Suelo	Benceno	Tolueno	Xileno(mezcla)	Etilbenceno	Hexano	Heptano	Estireno
Arena	1.000 ppm (0,1%)	30.000 ppm (3%)	200.000 ppm (20%)	100.000 ppm (10%)	25.000 ppm (2,5%)	2.500 ppm (0,25%)	10.000 ppm (1%)
Arcilla	1.000 ppm (0,1%)	30.000 ppm (3%)	200.000 ppm (20%)	100.000 ppm (10%)	25.000 ppm (2,5%)	2.500 ppm (0,25%)	10.000 ppm (1%)
Mezcla 1:1	1.000 ppm (0,1%)	30.000 ppm (3%)	200.000 ppm (20%)	100.000 ppm (10%)	25.000 ppm (2,5%)	2.500 ppm (0,25%)	10.000 ppm (1%)

Los resultados obtenidos en el primer estudio de inflamabilidad realizado fueron los siguientes:

suelo Arenoso	Vaso abierto	Ensayo	% contaminación suelo Arenoso							
		Inflamabilidad Cleveland V/A	%	0,10	0,25	1,00	2,50	3,00	10,00	20,00
		Método	Benceno	>400						
		ASTM D-92/02	Tolueno					>400		
		Unidades	Etilbenceno						30	
		°C	Xilenos							36
		Incertidumbre	Hexano				>400			
		± 8°C	Heptano		>400					
			Estireno			>106				

suelo Arcilloso	Vaso abierto	Ensayo	% contaminación suelo Arcilloso							
		Inflamabilidad Cleveland V/A	%	0,10	0,25	1,00	2,50	3,00	10,00	20,00
		Método	Benceno	>400						
		ASTM D-92/02	Tolueno					>400		
		Unidades	Etilbenceno						32	
		°C	Xilenos							26
		Incertidumbre	Hexano				>400			
		± 8°C	Heptano		>400					
						>106				

suelo mezcla 1:1 Arenoso/ Arcilloso	Vaso abierto	Ensayo	% contaminación suelo mezcla 1:1 Arenoso/Arcilloso							
		Inflamabilidad Cleveland V/A	%	0,10	0,25	1,00	2,50	3,00	10,00	20,00
		Método	Benceno	>400						
		ASTM D- 92/02	Tolueno					>400		
		Unidades	Etilbenceno						25	
		°C	Xilenos							48
		Incertidumbre	Hexano				>400			
		± 8°C	Heptano		>400					
			Estireno			>96				

suelo Arenoso	Vaso Cerrado	Ensayo	% contaminación suelo Arenoso							
		Inflamabilidad Pensky Martens	%	0,10	0,25	1,00	2,50	3,00	10,00	20,00
		Método	Benceno	>100						
		ASTM D93-18	Tolueno					>100		
		Unidades	Etilbenceno						20,5	
		°C	Xilenos							19,5
		Incertidumbre	Hexano				>100			
		± 4°C	Heptano		>100					
			Estireno			32				

suelo Arcilloso	Vaso Cerrado	Ensayo	% contaminación suelo Arcilloso							
			0,10	0,25	1,00	2,50	3,00	10,00	20,00	
Inflamabilidad Pensky Martens	%									
Método	Benceno	>100								
ASTM D93-18	Tolueno					>100				
Unidades	Etilbenceno						21			
°C	Xilenos							15		
Incertidumbre	Hexano				>100					
± 4°C	Heptano		>100							
	Estireno			33						

suelo mezcla 1:1	Vaso Cerrado	Ensayo	% contaminación suelo mezcla 1:1 Arenoso/Arcilloso							
			0,10	0,25	1,00	2,50	3,00	10,00	20,00	
Inflamabilidad Pensky Martens	%									
Método	Benceno	>100								
ASTM D93-18	Tolueno					>100				
Unidades	Etilbenceno						16			
°C	Xilenos							22		
Incertidumbre	Hexano				>100					
± 4°C	Heptano		>100							
	Estireno			33						

10 CONCLUSIONES

Este estudio hace referencia únicamente a las muestras preparadas y analizadas según metodología descrita anteriormente en este documento. Es un estudio realizado a escala de laboratorio y las conclusiones descritas a continuación deben considerarse en ese contexto.

10.1

Se ha observado que las **Concentraciones en suelo de 20% para la mezcla de xilenos y 10% de Etilbenceno**, en los tres tipos de suelo y tanto en vaso abierto como en vaso cerrado producen Flash. El **Estireno a concentración de 1%** solo en vaso cerrado.

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

10.2

Destacar que el Estireno es inflamable en vaso cerrado y no en vaso abierto, por lo que si la contaminación es en un suelo que se encuentra en un espacio abierto no debería ser considerado como peligroso a la concentración de 1%.

10.3

Los límites de peligrosidad como HP₃ observados durante el desarrollo de este estudio y el realizado en 2017 fueron:

Xileno	Intervalo 0.05% - 0,1%	(2019)
Etilbenceno	Intervalo 0.05% - 0,1%	(2019)
Gasolina envejecida	Intervalo 0,1% - 0,25%	(2017)
Benceno	> 0,1%	(2019)
Tolueno	> 3%	(2019)

10.4

Si comparamos los siguientes resultados obtenidos:

- Xileno Intervalo 0.05% - 0,1%
- Etilbenceno Intervalo 0.05% - 0,1%
- Gasolina envejecida Intervalo 0,1% - 0,25%

Informe 2017		
SUELO MIXTO	GASOLINA	
Contaminante	COC	PM
10%	47	<20
3%	62	<20
7654EAZ-, 2.5%	87	<20
1%	158	<20
0,25%	>200	35
0,10%	>200	>100
0,01%	>200	>100

Informe 2019				
SUELO MIXTO	Etilbenceno		Xilenos	
Contaminante	COC	PM	COC	PM
5%	34	22	45	20
4%	45	20	42	20
3	48	20	50	22
2%	49	25	51	28
1,00%	50	30	55	30
0,10%	58	45	58	50
0,05%	>100	>100	>100	>100

10.5

Si comparamos:

- Xileno Intervalo 0.05% - 0,1%
- Etilbenceno Intervalo 0.05% - 0,1%
- Benceno > 0,1%

El benceno es un hidrocarburo aromático relativamente soluble en el agua del suelo. Por el contrario, el etilbenceno es 15 veces menos soluble que el benceno y los xilenos son insolubles.

Los resultados obtenidos, demuestran que a concentraciones altas, los hidrocarburos se comportan en el suelo como si estuvieran en condiciones ideales, y el punto de ebullición y la Presión de vapor son los parámetros que guían la temperatura a la cual se obtendrá flash.

Sin embargo, a bajas concentraciones, la película de hidrocarburo en el suelo es mucho más fina y el comportamiento de los compuestos se ve afectado por las diferentes interacciones con el medio. Así, fuerzas como las de Van der Waals, K_{Henry} , solubilidad de los hidrocarburos en el agua del medio, etc... cobran más relevancia a la hora de retener el compuesto en el suelo que la propia Temperatura de ebullición o la volatilidad.

Así, un compuesto más volátil pero también mucho más soluble en agua como el benceno, puede llegar a ser estando disperso en el suelo, menos inflamable a bajas concentraciones que otros hidrocarburos menos volátiles como el xileno o el etilbenceno que provocan inflamabilidad a temperaturas más elevadas debido a que apenas interactúan con el medio y mantienen su idealidad semejante en todo el rango de concentración.

10.6

La incertidumbre asociada a la preparación del suelo contaminado no ha sido calculada. Abajo se muestra la incertidumbre asociada a cada ensayo de inflamabilidad en hidrocarburo neto, sin tener en cuenta la matriz suelo:

- 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 $K=2$.

10.7

Las características del tipo de suelo no parecen determinantes respecto a la inflamabilidad, si bien todos ellos contenían un porcentaje semejante de sustrato húmedo.

11 TERMINOLOGÍA Y DEFINICIONES:

Punto de inflamación (Flash Point) es la temperatura más baja, corregida a una presión de 760 mm de Hg, 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 de 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 °C y ≤ 75 °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.

12 OTROS DATOS

12.1 Etilbenceno

Nº CAS: 100-41-4

Nº EINECS: 202-849-4

Nº CE: 601-023-00-4

Número de registro (REACH) 01-2119489370-35-xxxx

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

El etilbenceno es un líquido incoloro e inflamable con un olor aromático.

Peso molecular: 106,17 **Fórmula molecular:** C₈H₁₀

Solubilidad: a 15 °C es muy poco soluble en agua, es miscible con alcoholes y éteres.

Punto de ebullición: 136,2 oC **Presión de vapor:** 2 kPa a 20 oC

Densidad: 3,7 veces la del aire

Límite de explosividad: en el rango 1,2%–6,8% (concentración en aire)

Umbral de olor: 2 ppm (9 mg/m³)

USOS MÁS FRECUENTES

El etilbenceno se emplea en la fabricación de estireno y es un importante disolvente en las industrias del caucho y del plástico.

Suele estar presente junto con otros disolventes como el xileno, está presente también en las gasolinas.

Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

H225	Líquido y vapores muy inflamables
H304	Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias H332. Nocivo en caso de inhalación
H373	Puede provocar daños en los órganos (órganos del oído) tras exposiciones prolongadas o repetidas.

12.2 Xilenos (mezcla de isómeros)

Nº CAS: 1330-20-7 **Nº CE:** 215-535-7

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Los isómeros del xileno son líquidos inflamables e incoloros con un olor dulzón.

Peso molecular: 106,16 **Fórmula molecular:** C₈H₁₀

Solubilidad: insolubles en agua, miscibles con alcohol etílico, éter dietílico y otros disolventes orgánicos. **Punto de fusión:** -25°C (o-xileno), -48°C (m-xileno) y -13,2°C (p-xileno).

Punto de ebullición: 144°C (o-xileno), 139°C (m-xileno) y 138°C (p-xileno).

Presión de vapor: 0,88 kPa a 25°C (o-xileno), 1,1 kPa a 25°C (m-xileno) y 1,2kPa a 25°C (p-xileno).

Límite de explosividad: inferior 1,0% y superior 3,5% (concentración en aire).

Umbral de olor: 0,5 - 1 ppm (2,2 – 4,4 mg/m³)

USOS MÁS FRECUENTES

El xileno está presente en tres formas isómeras, orto, meta y para-xileno. El xileno de calidad técnica es una mezcla comercial que contiene un 60-70% de meta-xileno, un 10-25% de para-xileno, un 10-20% de orto-xileno, un 6-10% de etilbenceno y pequeñas cantidades de otros hidrocarburos.

Se obtienen del petróleo y se utilizan en gasolinas, en síntesis química y en disolventes y limpiadores para una gran variedad de productos.

Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Acute Tox. 4:	H332 -	Nocivo en caso de inhalación.
Acute Tox. 4:	H312 -	Nocivo en contacto con la piel.
Flam. Liq. 3:	H226 -	Líquidos y vapores inflamables.
Skin Irrit. 2:	H315 -	Provoca irritación cutánea.