

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA



**DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE
INFLAMABILIDAD DE DESECHOS PELIGROSOS**

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la Ilustre Universidad
Central de Venezuela, por la bachiller
Alana Barrios Medina para optar al
título de Licenciada en Química,
mención Tecnología.

Caracas, mayo de 2018

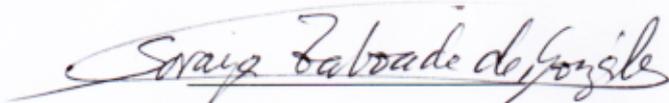
Yo, Profesora Soraya Taboada, Investigadora del Laboratorio de Síntesis Organometálica de la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela y yo, Profesor Leonardo Acevedo Investigador del Laboratorio de materiales peligrosos de la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela.

Certificamos que el presente Trabajo Especial de Grado, titulado:

“DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE INFLAMABILIDAD DE DESECHOS PELIGROSOS”.

Que presenta la Br. Alana Barrios Medina, para aspirar al título de Licenciado en Química, ha sido realizado en el Laboratorio de Síntesis Organometálica de la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela, bajo nuestra dirección, durante los años 2017 y 2018, y con esta fecha autorizamos su presentación.

Caracas, mayo de 2018.

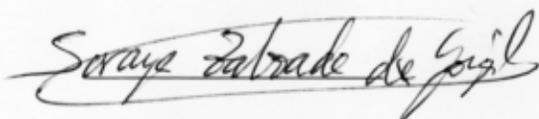


Prof(a). Soraya Taboada



Prof. Leonardo Acevedo

Los abajo firmantes asignados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del trabajo Especial de Grado titulado: "Desarrollo de un método para la determinación del punto de inflamabilidad de desechos peligrosos". Presentado por la Br. Alana Barrios Medina, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar por el título de Licenciado en Química.



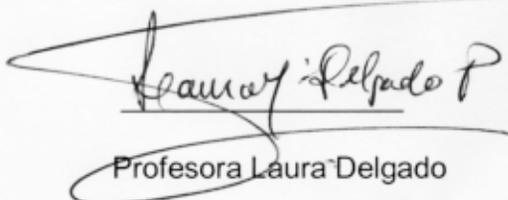
Profesora Soraya Taboada

(Directora)



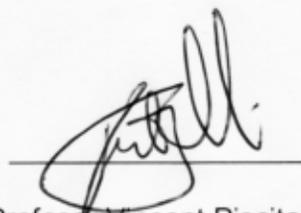
Profesor Leonardo Acevedo

(Director)



Profesora Laura Delgado

(Jurado)



Profesor Vincent Piscitelli

(Jurado)

RESUMEN

El presente trabajo se basó en el desarrollo de un método para la determinación del punto de inflamabilidad de desechos peligrosos, donde el análisis de las condiciones y la optimización de las variables desempeñaron un rol importante al establecer las bases que permitieron diseñar el equipo. Las variables consideradas partieron desde características físicas del equipo como instrumentos y materiales, entre los cuales se establecieron la fuente de ignición y altura de esta, el contenedor de la muestra, el instrumento de medición de temperatura hasta características de la muestra como punto de inflamación, volumen, viscosidad, entre otros.

El equipo se ensambló dentro de una campana, la cual permite controlar operaciones básicas como encendido/apagado de la fuente de ignición, fuente de calentamiento y agitación desde el exterior de la misma. Al mismo tiempo se incorporó un sistema de extracción que permite eliminar los vapores emanados tras cada medida. El diseño permite visualizar claramente el destello producido por la inflamabilidad a la temperatura más baja a medida que se va calentando la muestra. La fuente de ignición es proporcionada por la formación de un arco eléctrico de alto voltaje generado entre una bobina de Tesla y un cable dirigido a tierra.

El equipo se calibró a partir de una serie de patrones de alcoholes y alcanos, y las medidas fueron corregidas tomando en cuenta la curva de calibración del equipo y ajustadas a la presión barométrica de ensayo. El equipo desarrollado presenta una precisión y exactitud dentro del rango establecido por los valores teóricos.

Finalmente, se determinó el punto de inflamabilidad de tres desechos peligrosos como parte del análisis de peligrosidad de estos en cumplimiento con la normativa técnica venezolana.

Palabras clave: Punto de inflamabilidad, inflamabilidad, fuente de ignición, arco eléctrico, alto voltaje, bobina de tesla, desechos peligrosos, caracterización, manejo de residuos y desechos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme cada día estar con vida y salud. A mi familia por el amor y apoyo brindado para ayudarme a crecer como persona y permitirme llegar a donde estoy. A mi papá Juan Barrios que dedico años de su vida para que alcanzara mis metas y hoy ya no se encuentra conmigo. A mi mamá Yoli quien me ha apoyado incondicionalmente en todo y siempre vela por mi progreso. A mi hermano quien me ha servido de apoyo y compañía al estar lejos de nuestra casa. A mi tía María Elena, por recibirme y darme cobijo en su hogar durante mis años de estudio.

A todos los amigos que he tenido a lo largo del camino, que me han permitido mantenerme enfocada y quienes han servido de apoyo en los momentos difíciles.

A mi novio Gabriel, quien este último año se ha convertido en apoyo y motivador para llegar a la meta, y quien me alienta en momentos de desesperanza.

A mis tutores, los profesores Soraya Taboada y Leonardo Acevedo, y los profesores Vincent Piscitelli, Yohar Hernández, Nelson Acevedo, Jorge Peñuela y Mary Lorena Araujo quienes de alguna u otra manera colaboraron con esta investigación, siendo piezas indispensables para el desarrollo del mismo.

A todos ustedes, gracias.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	10
FUNDAMENTO TEÓRICO	11
Residuos y desechos químicos peligrosos.....	11
Manejo integral de residuos químicos.....	11
Punto de inflamabilidad.....	15
Temperatura de autoignición	16
Líquido Inflamable.....	16
Líquido Combustible	17
A.Eléctrica.....	20
Arco eléctrico	20
B.Energía estática.....	21
C.Superficies calientes.....	21
D.Trabajos en caliente: Chispas y llamas abiertas	22
Energía de activación.....	22
Límites de inflamabilidad.....	23
• Límite inferior de inflamabilidad (L.I.I.)	23
• Límite superior de inflamabilidad (L.S.I).....	23
Rango de inflamabilidad.....	25
Efecto de la presión sobre el punto de inflamabilidad	25
Efecto de la temperatura y la presión sobre la peligrosidad de un líquido inflamable	26
Principales métodos para la determinación del punto de inflamabilidad	28
Copa Abierta Cleveland.....	29

Copa Cerrada de Pensky Martens.....	29
Copa Cerrada TAG.....	30
Copa Cerrada Setaflash.	30
OBJETIVOS.....	32
Objetivo general.....	32
Objetivos específicos	32
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	33
1. Metodología para el estudio los métodos de medición del punto de inflamabilidad para evaluar su posible aplicación.	33
2. Metodología para el diseño del montaje para la determinación del punto de inflamabilidad.	33
3. Procedimiento para la optimización del método para la determinación del punto de inflamabilidad	35
4. Metodología para la calibración del equipo.....	36
5. Metodología para la determinación los puntos de inflamabilidad de los residuos o desechos presentes en el Laboratorio de Síntesis Organometálica.	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
☐ Estudio de los principales métodos para la determinación del punto de inflamabilidad	40
☐ Diseño del montaje para la determinación del punto de inflamabilidad.....	41
☐ Optimización del método para la determinación del punto de inflamabilidad.....	43
☐ Calibración del equipo.....	56
☐ Determinación del punto de inflamabilidad de desechos peligrosos	61
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	68
ABREVIATURAS	69

ANEXOS	71
Anexo 1: Método copa abierta de Cleveland	71
Anexo 2: Método copa cerrada Pensky-Martens	72
Anexo 3: Método copa cerrada TAG.....	73
Anexo 4: Método copa cerrada Setaflash	74
Anexo 5: Montaje del Equipo y desarrollo durante su diseño	75
Anexo 6: Pictogramas de peligro	78
Anexo 7: Señalizaciones.....	79
Anexo 8: Cálculos de la calibración y punto de inflamación de los desechos.....	80
Anexo 9: Punto de Inflamabilidad reportado	82
Anexo 10: Protocolo para la determinación del punto de inflamabilidad con el nuevo método desarrollado.....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de los principales métodos para la determinación del punto de inflamabilidad.....	40
Tabla 2: Punto de inflamabilidad variando el volumen de la muestra.....	44
Tabla 3: Punto de inflamabilidad variando del volumen del contenedor (Sistema cerrado).....	45
Tabla 4: Volumen mínimo de gas para alcanzar el Límite Inferior de Inflamabilidad.....	46
Tabla 5: Punto de Inflamabilidad variando del volumen del contenedor (Sistema abierto).....	47
Tabla 6: Viscosidad de diversos compuestos.....	48
Tabla 7: Punto de Inflamabilidad variando la altura de la fuente de ignición.....	49
Tabla 8: Punto de Inflamabilidad de diferentes compuestos variando la fuente de ignición.....	51
Tabla 9: Punto de inflamabilidad en sistema abierto utilizando una bobina de Tesla para diferentes compuestos.....	52
Tabla 10: Punto de inflamabilidad en sistema parcialmente cerrado utilizando una bobina de Tesla para diferentes compuestos.....	54
Tabla 11: Punto de inflamabilidad de los patrones utilizados en la curva de calibración del equipo.....	57
Tabla 12: $t_{calculda}$ para cada compuesto.....	59
Tabla 13: Desechos seleccionados y lugar de procedencia	61
Tabla 14: Punto de inflamabilidad del Desecho 1 - Agua a diferentes composiciones.....	62
Tabla 15: Punto de Inflamabilidad de cada desecho.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico de los tipos de residuos por dependencia y cantidades generadas.....	3
Figura 2: Triángulo del fuego.....	14
Figura 3: Tetraedro del Fuego.....	14
Figura 4: Clasificación de Líquidos inflamables combustibles.....	18
Figura 5: Rango de inflamabilidad.....	25
Figura 6: Variación del límite inferior de inflamabilidad según la temperatura y la presión.....	27
Figura 7: Equipo en la campana de presurización.....	34
Figura 8: Equipo ensamblado bajo el método desarrollado.....	34
Figura 9: Barómetro instalado.....	35
Figura 10: Punto de inflamabilidad variando el volumen de la muestra....	44
Figura 11: Punto de inflamabilidad variando la altura de la fuente de ignición.....	50
Figura 12: Punto de inflamabilidad en sistema abierto.....	53
Figura 13: Matraz de tres bocas de 25ml (contenedor de la muestra).....	54
Figura 14: Punto de Inflamabilidad en sistema abierto y parcialmente cerrado.....	55
Figura 15: Curva de calibración del termómetro.....	56
Figura 16: Curva de calibración del equipo.....	60
Figura 17: Punto de Inflamabilidad del desecho 1 a diferentes composiciones.....	62
Figura 18: Desecho 4.....	64
Figura 19: Desecho 5.....	64
Figura 20: Copa abierta de Cleveland.....	71
Figura 21: Copa cerrada Pensky- Martens.....	72
Figura 22: Copa cerrada TAG.....	73
Figura 23: Copa cerrada Setaflash.....	74
Figura 24: Campana de presurización en desuso.....	76

Figura 25: Campana de presurización recuperada.....	76
Figura 26: Ubicación del extractor a un costado de la campana de presurización	77
Figura 27: Pictograma de peligro para sustancias explosivas.....	78
Figura 28: Pictograma de peligro para sustancias inflamables.....	78
Figura 29: Señalización de peligro por riesgo eléctrico.....	78
Figura 30: Señalización de lavaojos de emergencia.....	79
Figura 31: Señalización de ducha de emergencia.....	79

INTRODUCCIÓN

Desde hace miles de años el hombre conocía la existencia del fuego como un elemento vital para sobrevivir en un mundo austero. Muchos años de evolución y la civilización permitieron la comprensión de este elemento. Numerosos han sido los beneficios que este ofrece y son estas mismas características han sido la causa de muchos accidentes por desconocimiento en cuanto a su manipulación y a como se origina.

Tanto en la vida cotidiana como en un laboratorio químico no estamos exentos a que se produzca fuego de manera inesperada o intencional, pero al estar en un laboratorio químico la posibilidad de que esto ocurra aumenta considerablemente al poseer tantos reactivos químicos y materiales de residuos y/o desechos almacenados muchas veces de forma inadecuada.

Si nos enfocamos en los reactivos, sustancias y materiales de desecho que contiene un laboratorio podemos notar que en gran medida muchos de ellos podrían considerarse inflamables, que al estar bajo las condiciones adecuadas de temperatura y concentración podría ocasionar eventualmente un accidente. Considerando esto y dado que un laboratorio presenta riesgos elevados, el conocimiento de las propiedades de dichas sustancias es vital para la prevención de accidentes.

La normativa venezolana no hace caso omiso a esta problemática y proporciona en cierta medida los lineamientos que se deben seguir al momento de tratar con dicha sustancia. El Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas, basado en el decreto 2635 de las normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos, señala cuatro parámetros fundamentales que se deben determinar en un residuo o desecho peligroso, que no esté plenamente identificado, para su recuperación, traslado y disposición final, los cuales son "inflamabilidad, corrosividad, reactividad y

composición, en función de las materias primas y procesos que le dieron origen” [1]; siendo estos de importancia para la caracterización de dichas sustancias.

Al realizar la caracterización de estos desechos peligrosos la identificación de sus propiedades es fundamental. Partiendo de la premisa de que numerosos desechos no están identificados, están almacenados y dispuestos de manera inadecuada, es primordial seguir un sistema de manejo de los mismos, en donde uno de los primeros pasos es la determinación de sus propiedades para caracterizarlos. Una de las más resaltantes tiene que ver con la inflamabilidad de las sustancias debido a la emisión de vapores que constantemente se efectúa durante períodos altamente prolongados, donde las sustancias están dispuestas irregularmente sin que haya una verificación de su compatibilidad y/o dispuestos en envases deteriorados. Al seguir un sistema de manejo adecuado, donde se mejoren las condiciones y disposición de los desechos, el desarrollo de un método que permita establecer el punto de inflamabilidad de él es fundamental para la prevención y disminución de riesgos, dando conformidad a la normativa técnica venezolana para el manejo de estos desechos.

ANTECEDENTES

Algunas investigaciones relacionan la inflamabilidad con el manejo y gestión de desechos peligrosos, así como el desarrollo de métodos para su determinación.

Los residuos peligrosos representan tan sólo una fracción ínfima de la totalidad de desechos que se generan por actividades industriales, laboratorios químicos y actividades domésticas en general, su impacto afecta los ciclos asociados a su entorno. Entendiendo esto Massera *et al.* 2011 [2], crearon un plan de gestión integral de residuos peligrosos en la Universidad Nacional de Río Cuarto. Como parte de la caracterización de residuos, clasificaron, categorizaron y cuantificaron, a su vez analizaron los riesgos y crearon modelos de gestión para residuos inflamables e infecciosos.

Este modelo de gestión fue creado tomando en cuenta los resultados obtenidos para dicha universidad en cuanto a los distintos tipos de residuos que se producen en cada dependencia, en términos de una escala relativa de cantidades generadas como muestra la figura 1.

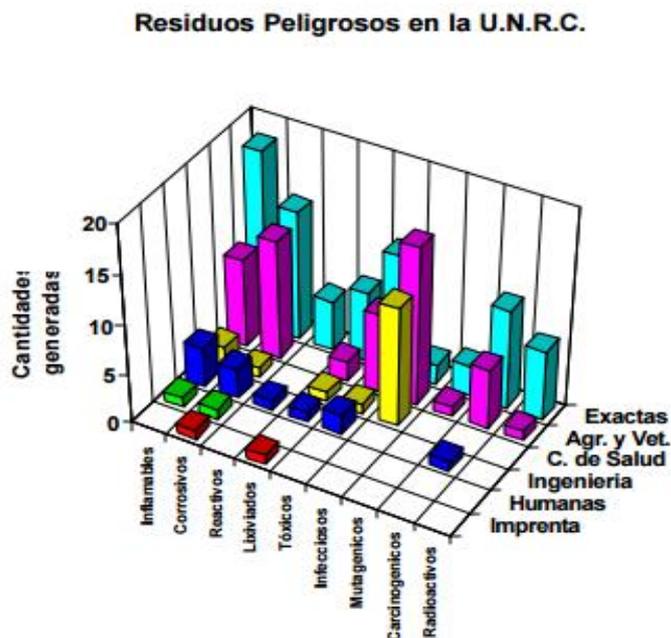


Figura 1: Gráfico de los tipos de residuos por dependencia y cantidades generadas [2]

Según el análisis de los resultados que se obtuvieron en la figura 1, Massera *et al*^[2] concluyeron que la mayor probabilidad de ocurrencia se da en las Facultades de Ciencias Exactas, y se relaciona con los residuos inflamables que son los que más se generan.

A partir de la experiencia anterior en una universidad donde la escuela de química de la Facultad de Ciencias hay riesgos en cuenta a residuos inflamables que no se han cuantificado y caracterizados para ver cómo se manejan, estos son producidos por actividades de investigación, prácticas docentes y servicios prestados, dentro de los laboratorios, por lo tanto la identificación de sus características de peligrosidad es importante como uno de los principales pasos para la gestión de desechos.

A partir de dicha gestión se logra el manejo adecuado de los procesos de manera global donde se involucra además procesos operativos y administrativos como lo realizó F. García, de la universidad Simón Bolívar, quien diseñó un plan de gestión integral de residuos y desechos para la empresa del sector químico y metalmeccánico. García 2011^[3] concluyó que el manejo, almacenamiento y disposición adecuada de los residuos y desechos sólidos peligrosos provenientes de dichos sectores producen consecuencias negativas para la salud de los trabajadores y el ambiente circundante principalmente debido a las características y propiedades de los mismos como reactividad, toxicidad, corrosividad e inflamabilidad, según lo contemplado en la Ley sobre Sustancias, materiales y desechos peligrosos de acuerdo a los sistemas de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). El plan de gestión integral se conformó por programas de acción en las áreas de Educación ambiental, Sistematización y gestión de la información, solvencia ambiental, fortalecimiento industrial y gerencial, manejo de desechos y control administrativo. Dicho plan fue estructurado en base al cumplimiento de las leyes y contiene programas para la creación de conciencia ambiental en el manejo seguro de los desechos peligrosos.

A partir de los planes de gestión, el almacenamiento y manejo de sustancias químicas desempeñan un rol importante. Aunado a esto, siguiendo la línea de investigación de los trabajos realizados en el área de materiales peligrosos de la escuela de química de la Universidad Central de Venezuela, De La Concha 2015^[4] realizó una propuesta de Gestión de almacenamiento de reactivos y manejo de residuos generados en los laboratorios de docencia de la facultad de ciencias de dicha universidad con la finalidad de mejorar las condiciones de seguridad de los laboratorios de docencia, enfocada a adecuar un espacio soportado en la normativa legal, identificando y cuantificando los reactivos. A su vez, recuperó residuos generados en el laboratorio de fisicoquímica. Recuperó cloroformo y ácido acético mediante una destilación simple. En esta investigación se evaluaron condiciones de riesgo y seguridad dando continuidad al tema de caracterización que involucra la determinación de propiedades.

Al mismo tiempo otro plan de gestión de residuos y desechos se llevó a cabo por V. Fernandes, quien realizó una propuesta de almacenamiento de residuos y desechos generados en los laboratorios de docencia de la escuela de química en la Facultad de Ciencias. Fernandes 2015^[5] determinó el grado de peligrosidad de los reactivos tomando en cuenta efectos sobre la salud, y propiedades físicas y químicas correspondientes a dichos reactivos. Esto le permitió manejar adecuadamente los residuos, así como su recuperación y disminución de riesgos. Este trabajo se propone la determinación de una de estas propiedades de peligrosidad a través de un sistema de manejo adecuado para la determinación del grado de peligrosidad de las sustancias.

Diversos planes de gestión y sistemas de manejo se han estructurado por diferentes países. En la Ciudad de México, F. Soto *et al.* 1996 [6], presentaron los aspectos fundamentales a considerar en el almacenamiento y manipulación de residuos peligrosos. La necesidad de estructurar un sistema de manejo de residuos peligrosos empieza cuando estos se generan y continúan a través de una serie de

etapas subsecuentes hasta su tratamiento y disposición final. Por lo que la identificación y caracterización de los residuos peligrosos juega un papel crucial. Soto *et al.* 1996^[6] consideran que el primer paso para cualquier plan o control de manejo de residuos peligrosos es identificar el tipo de residuos generados, así como sus características de peligrosidad CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable, Biológico o infeccioso). Establecen que “la caracterización empieza con la obtención de una muestra del residuo colectada por un método de muestreo confiable y analizada por un método de extracción y análisis apropiados de tal manera que el resultado sea representativo del residuo”^[6]. Seguidamente analizar detalladamente las características fisicoquímicas del residuo para manejarlo efectivamente, como pruebas de pH, punto de inflamabilidad, valor específico, entre otras.

Por lo anteriormente mencionado, la investigación de Soto *et al.* 1996 señala una de las propiedades de estudio de este trabajo, el punto de inflamabilidad, como parte de la caracterización de desechos peligrosos estableciendo uno de los principales aspectos a determinar para una sustancia de residuo.

Uno de los principales métodos utilizados para la determinación del punto de inflamación se emplea comúnmente es la copa cerrada de Pensky-Martens, la cual puede ser utilizada tanto para sustancias puras como para mezclas. En Beijing China, J. Yang *et al.* 2016^[7], sintetizaron 1-(2-azidoetil) pirrodilina (AZEP), “un propulsor líquido en el sistema de propulsión bipropelente, en sustitución de otros provenientes de hidracinas y derivados que son fácilmente inflamables y resultaban tóxicos y carcinógenos”^[7]. La evaluación de diferentes propiedades físicas y químicas se hizo necesaria al no contar con un estudio de AZEP a diferentes temperaturas, por lo cual se midieron las propiedades: densidad, viscosidad, presión de vapor, punto de fusión y punto de inflamación. Este último fue determinado con el método estándar ASTM D93, copa cerrada Pensky-Martens, donde se obtuvo un valor de 43,9°C. Yang *et al.* 2016^[7] concluyeron que AZEP se obtuvo con una pureza elevada de 99%, puesto que el valor de punto de inflamabilidad obtenido es el del producto purificado, además que este valor no variará notablemente al tener un porcentaje de impurezas tan bajo.

Según el resultado obtenido AZEP, necesita de medidas de protección adecuadas para su transporte, almacenamiento y manipulación.

Considerando lo mencionado anteriormente sobre las medidas que se deben tomar en consideración al manipular un compuesto sintetizado puro, la investigación de Soto muestra que la determinación de su punto de inflamabilidad es importante al reportar una temperatura baja de inflamabilidad y necesita un manejo más cuidadoso.

Por otra parte otro método fue llevado a cabo por J. In 2015^[8] en la República de Corea, J. In realizó mediciones el punto de inflamación de diferentes sistemas binarios, metilciclohexano + n-heptano, metilciclohexano + p-xileno y n-heptano + p-xileno, a 101,3 kPa. “Varios métodos han sido desarrollados para la estimación de bajos puntos de inflamabilidad de un compuesto puro y sus mezclas. El propósito de este estudio fue predecir el punto de inflamabilidad para las mezclas binarias inflamables mediante el uso de cauchos neumáticos y disolventes industriales con hidrocarburos aromáticos”^[8]. Las mediciones se realizaron utilizando un probador de copa cerrada seta.^[8]

La investigación de J. In relaciona el hecho de que es posible medir el punto de inflamabilidad para líquidos mezclados y puesto que la mayoría de los residuos o desechos encontrados en el laboratorio son mezclas, en algunos casos formando disoluciones acuosas es posible medir su punto de inflamabilidad.

A continuación se muestra como otro tipo de mezclas, la formada por una sustancia inflamable y una sustancia no inflamable se comporta, ejemplo de ello es la formada por disoluciones acuosas, V. A. Murav'eva *et al.* 1984^[9], evaluaron la dependencia del punto de inflamabilidad en la composición de soluciones acuosas de solventes de amida. Para ello los solventes de amida, dimetilformamida (DMF) y dimetilacetamida (DMAc), en forma de soluciones acuosas a diferentes concentraciones midieron su punto de inflamabilidad en copa abierta y copa cerrada. Los resultados indicaron que con la disminución de DMF y DMAc en las soluciones el

punto de inflamación se eleva. Y al llegar a ciertas concentraciones ya no se produce la inflamabilidad.

Por otra parte, algunos métodos para la determinación del punto de inflamación ya se han establecido el volumen adecuado de muestra a utilizar para realizar la medición. Sin embargo, el punto de inflamación no depende del volumen de la muestra. Por lo que, Shuvalov 2009^[10] en Rusia, al considerar que para determinar el punto de inflamación de derivados del petróleo tomaba aproximadamente 1,5 horas y repetir este proceso varias veces para lograr la exactitud adecuada supone una gran pérdida de tiempo.

Shuvalov 2009^[10] desarrolló un método donde varió el volumen de muestra así como la reducción de su cantidad para disminuir el tiempo de medida. En un crisol abierto analizó diferentes volúmenes del producto derivado del petróleo: 75, 50, 25, 10 y 5 ml. Estableció que una reducción en el volumen de un aceite de motor no tuvo efecto en el punto de inflamabilidad. También investigó cómo el punto de inflamación dependía de la velocidad de calentamiento del aceite. Y concluyó que “la velocidad de calentamiento del aceite afecta su punto de inflamabilidad, posiblemente debido al calor convectivo y los procesos de transferencia de masa en el líquido. La intensidad de la convección térmica aumenta a medida que aumenta la velocidad de calentamiento del producto de petróleo y, como consecuencia, punto de inflamabilidad es reducido”^[10]. Finalmente, determinó que a bajas tasas de calentamiento y pequeños volúmenes, la convección no jugó ningún papel apreciable y, por lo tanto, el punto de inflamabilidad fue prácticamente independiente de la velocidad de calentamiento^[10]. La importancia de este trabajo nos indica que el punto de inflamabilidad no se ve afectado por la cantidad de volumen de muestra utilizado y por ende se puede modificar. Además, muestra como la velocidad de calentamiento puede verse afectada si se realiza a una velocidad mayor a la recomendada^[10].

Otro punto importante es como la pureza de las sustancias afecta las medidas. Esta fue establecida mientras se realizaba otro estudio donde se relacionaba el punto

de inflamabilidad con el punto de ebullición. I. S. Akhmetzhanov *et al.* 1974^[11] al realizar dicho estudio demostraron que una serie homóloga de una sola clase de sustancia se observa una relación lineal, donde para los hidrocarburos n-parafínicos y ácidos n-carboxílicos, todos los puntos experimentales se alinean muy bien. Sin embargo, notaron que para los n-alcoholes hubo una dispersión considerable. Dicha dispersión los llevó a realizar un control experimental de alcoholes comerciales de n-heptilo, n-octilo y n-nonilo calificados como grado "puro" y mostró que sus puntos de inflamación corresponden precisamente a lo reportado en la literatura. "Fue establecido por análisis cromatográfico que la dispersión en los puntos de inflamación de los n-alcoholes es una consecuencia de la presencia de varias impurezas"^[11].

Finalmente este hecho muestra como la presencia de impurezas puede crear una dispersión considerable al momento de realizar las medidas experimentales, pudiendo afectar en cierta medida los valores determinados para el punto de inflamación al utilizar este tipo de sustancias que fácilmente se pueden contaminar con impurezas.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, se genera gran cantidad de residuos y desechos peligrosos, muchos de ellos de carácter inflamable. “La generación de residuos peligrosos es el resultado del uso intensivo de sustancias químicas”^[12] a lo largo de los años debido a actividades de investigación, docentes, extensión y servicios, por lo que se acumula gran cantidad de ellos. Los residuos y desechos por sus propiedades químicas y físicas, representan un riesgo constante para la salud y el ambiente circundante^[13].

La identificación de dichas propiedades, según el establecido en la normativa venezolana, es uno de los principales aspectos que se deben plantear a la hora caracterizar una sustancia, manipularla, trasladarla, almacenarla, tratarla y/o disponerla finalmente. Por consiguiente, al considerar la clase de residuos generados estos incluyen sustancias inflamables y combustibles, que al estar almacenados de manera inapropiada podrían provocar la emisión de vapores que bajo las condiciones de temperatura y concentración adecuada podrían traer como consecuencia un eventual accidente en forma de explosión o incendio.

La determinación del punto de inflamabilidad de dichas sustancias es de vital importancia para la prevención y disminución de riesgos que la presencia de estas sustancias ocasiona. Además de su caracterización para el desarrollo de un correcto manejo del mismo como parte de la gestión de residuos y desechos químicos peligrosos. Por todas estas razones, es importante el desarrollo de un método que permita determinar el punto de inflamabilidad de estos una manera práctica y segura. A largo plazo esto será un aporte para el desarrollo de un sistema de caracterización y manejo integral de desechos de los laboratorios de la Facultad de Ciencias.

FUNDAMENTO TEÓRICO

“Los **residuos y desechos químicos peligrosos** comprenden todos aquellos materiales que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas e inflamables, representan un peligro para la salud humana y el ambiente, cuando son manejados o dispuestos en forma inadecuada”^[12]. Los residuos y desechos peligrosos son sustancias o materiales que puede ser reciclables o no, según el caso.

Todo material, resto, derivado o remanente que pueda ser nuevamente utilizado a través de un proceso se denomina residuo, éste se convierte en materia prima generando un mayor rendimiento económico y disminuyendo el impacto al ambiente. No obstante, si este no puede ser recuperado bien sea por su origen o cuya composición química resulte tóxica, se considera un desecho y debe tratarse adecuadamente para evitar un daño al ambiente y a la salud^[14].

En un laboratorio químico la generación de residuos peligrosos es el resultado del uso intensivo de sustancias químicas durante las actividades, servicios y prácticas de investigación.

El manejo integral de residuos químicos se inicia con la prevención, seguido de la reducción en la generación (tomando en consideración que los residuos generados son proporcionales al nivel de actividades desarrolladas), separación, transporte, almacenamiento, reaprovechamiento, tratamiento y/o disposición final de los mismos de una forma segura, tanto para el individuo que labora en dicha actividad, como para la población, sin causar impactos negativos al medio ambiente, con los mínimos costos, respetando las normas legales nacionales y los convenios internacionales^[12].

En el caso de los diferentes tipos de tratamientos, éstos tienen los siguientes objetivos:

- Minimizar el volumen e identificar las características físicas y químicas de los residuos para a través de un adecuado proceso darle tratamiento específico o eliminación.
- Suprimir el carácter de peligrosidad de los residuos mediante reacciones químicas o tratamientos biológicos.
- Separar compuestos químicos, de forma que se aparten los auténticamente peligrosos^[12].

Como parte del tratamiento, la caracterización de los residuos peligrosos juega un papel importante. Ya que al determinar sus propiedades identificamos sus características de peligro.

La caracterización se refiere a la asignación de características específicas a fin de diferenciarlo de otro, también se refiere a la obtención de información a partir de la respuesta de un material o sustancia al ser perturbado comenzando por el estudio de sus propiedades físicas, químicas, estructurales, de composición, topología, topografía, morfología, entre otras^[15].

Las propiedades físicas son aquellas cualidades que son medibles en un sistema físico sin afectar la composición o identidad de la sustancia^[16] y dichas propiedades se pueden presentar en estado sólido, líquido o gaseoso.

Las propiedades químicas son aquellas particularidades las cuales se observan cuando una sustancia sufre un cambio químico^[16], es decir, que cambian la composición de la materia convirtiéndose en sustancias nuevas. Ejemplo de ello es el punto de inflamabilidad, ya que al hacer la medición se genera la combustión.

Muchas son las empresas, industrias y laboratorios que generan residuos y desechos peligrosos a menor o gran escala, según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América o conocido en inglés como United States

Environmental Protection Agency (US EPA), las normas para la gestión de residuos y desechos peligrosos establece que un desecho peligroso presenta al menos una de estas cuatro características: inflamabilidad, corrosividad, reactividad o toxicidad^[17].

En Venezuela, el Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas, basado en el decreto 2635 de las normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos, dispone de los mismos parámetros estipulados por la EPA, en el artículo 12.-

➤ Artículo 12.- “Cuando el material peligroso recuperable no esté envasado, ni plenamente identificado o presente contaminación se exigirá una caracterización donde se determine su factibilidad, como requisito para su recuperación. A tales fines, se harán los análisis necesarios para determinar la inflamabilidad, corrosividad, reactividad y su composición, en función de las materias primas y procesos que le dieron origen; la composición será reportada por lo menos hasta el 0,1% en peso o en volumen, dependiendo si se trata de un sólido o un líquido”.

[1]

Considerando este artículo y dando cumplimiento a la normativa técnica se tomó una de las propiedades de peligrosidad, la inflamabilidad, como base para el desarrollo de un método que permite medir el punto de la mencionada propiedad de las sustancias. Si nos remontamos a la simple acción de generar una llama o comúnmente conocida como fuego podemos definirlo como un proceso físico-químico producto de una reacción química llamada combustión por emisión de calor [18], donde intervienen tres partes para que el proceso de combustión sea posible, estas son combustible, comburente y energía de activación.^[19]

Según la teoría del triángulo del fuego, “el combustible es la sustancia capaz de arder”^[19], y puede ser sólido, líquido o gaseoso. El comburente es un agente oxidante que favorece la combustión de otras sustancias que por lo general es el oxígeno de aire^[19]. Y la energía de activación es la energía mínima necesaria para

iniciar la reacción de una mezcla inflamable ^[20]. Esta teoría está relacionada como lo muestra la figura 2.

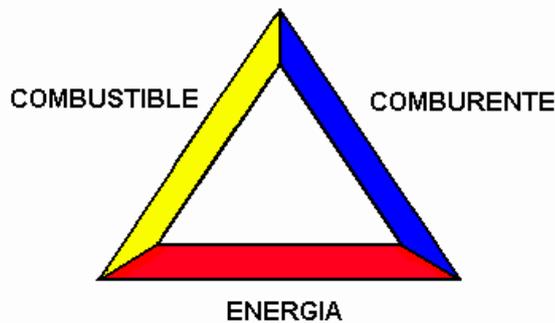


Figura 2: Triángulo del fuego ^[21]

Otra teoría que involucra la formación de fuego, es la llamada tetraedro del fuego ^[19]. Esta incorpora los elementos anteriores y añade un cuarto elemento, la reacción en cadena. Esta teoría establece que en una reacción en cadena, un intermediario de reacción producido en una etapa genera un intermediario en una etapa subsiguiente, luego el intermediario genera otro intermediario y así sucesivamente. Los intermediarios de una reacción en cadena se denominan propagadores de la cadena. Los intermediarios son típicamente radicales libres, es decir, moléculas con electrones desapareados y muy reactivos ^[22]. Esta teoría se representa en la figura 3 como tetraedro del fuego.

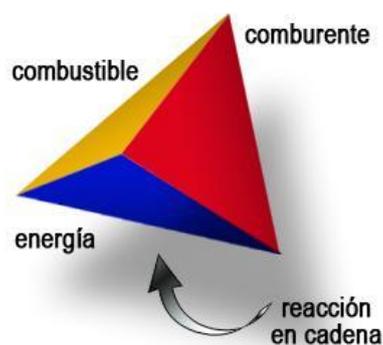


Figura 3: Tetraedro del Fuego ^[23]

La reacción en cadena produce la descomposición de moléculas del combustible, resultando radicales libres, que son los que provocan un mecanismo en cadena, manteniendo así la reacción ^[19].

Ahora bien, la llama o fuego iniciado por un material combustible puede ocurrir tanto en materiales sólidos, líquidos o gaseosos. La inflamabilidad de los materiales sólidos, por lo general, viene por el desprendimiento de vapores del propio sólido ^[24]. “Ciertos sólidos finamente pulverizados pueden arder violentamente. Esto se debe a que cada partícula tiene una muy baja capacidad para absorber calor, por lo que pequeñas cantidades de éste causan una rápida ignición, que se propaga de partícula en partícula” ^[24]. Para gases es menos relevante, ya que se trata de temperaturas por debajo de 0°C, es decir, “los gases no tienen puntos de inflamación porque no tienen fase líquida en condiciones normales” ^[25].

Se entiende como **Punto de Inflamabilidad (PI)** o flash point a la temperatura más baja a la cual se inflama una mezcla de vapor formada con el oxígeno del aire, donde dicho vapor es emitido de la sustancia, a presión atmosférica estándar, en presencia de una fuente de ignición ^[26].

Según la normas COVENIN, “la temperatura del punto de inflamabilidad es una medida de la tendencia de la muestra a formar una mezcla inflamable con el aire, bajo condiciones de laboratorio controladas” ^[27].

Anteriormente se habló de la llama o fuego, pero la acción de producirlo y efecto de estar un cuerpo ardiendo o incandescente se le conoce como Ignición ^[28]. Esta ocurre cuando el calor que emite una reacción llega a ser suficiente como para sostener la reacción química. “El punto de ignición es la temperatura mínima necesaria para que los vapores generados por un combustible comiencen a arder. Para que esto suceda es necesario alcanzar primero la temperatura de vaporización” ^[28]. Por lo tanto se puede decir que el punto de ignición y el de inflamación es el mismo.

Por otra parte es posible que la ignición ocurra de manera espontánea esto se denomina temperatura de autoignición y “es la temperatura mínima, a presión de una atmósfera, a la que un gas inflamable o mezcla de aire-vapor en contacto con el aire arde espontáneamente o es calentado en su superficie sin necesidad de una fuente de ignición. A esta temperatura se alcanza la energía de activación suficiente para que se inicie la reacción de combustión. Los vapores y gases arderán espontáneamente a una temperatura más baja en oxígeno que en el aire” [28]. La temperatura de autoignición también se conoce con el nombre de temperatura o punto de autoencendido, temperatura de ignición espontánea o autógena [28].

A partir del punto de inflamabilidad se puede clasificar un líquido de la siguiente manera, según la Asociación Nacional de protección contra el fuego o por sus siglas en inglés, NFPA 30 del código de Líquidos inflamables y Combustibles.

Líquido Inflamable se define como cualquier líquido que posea un punto de inflamación de copa cerrada por debajo de 100°F (37,8°C). Los líquidos inflamables deben clasificarse como Clase I de acuerdo con lo siguiente [29]:

(a) “Líquido Clase I. Cualquier líquido que posee un punto de inflamabilidad en copa cerrada por debajo de 100°F (37,8°C) y una presión de vapor Reid que no supere los 40 lb/pulg² abs. (2068,6 mm Hg) a 100°F (37,8°C), determinado de acuerdo con el ensayo ASTM D 323, Método de Ensayo Normalizado para la Presión de Vapor de Productos Petrolíferos” [29]:.

Los líquidos Clase I se subclasifican de la siguiente manera:

1. Los líquidos Clase IA son cualquier líquido que poseen puntos de inflamabilidad por debajo de 73°F (22,8°C) y puntos de ebullición por debajo de 100°F (37,8°C) [29].

2. Los líquidos Clase IB son cualquier líquido que poseen puntos de inflamabilidad por debajo de 73°F (22,8°C) y cuyos puntos de ebullición son iguales o superiores a 100°F (37,8°C) [29].

3. Los líquidos Clase IC son cualquier líquido cuyos puntos de inflamabilidad son 73°F (22,8°C) o superiores, pero inferiores a 100°F (37,8°C) [29].

Líquido Combustible se define como cualquier líquido que posee un punto de inflamabilidad en copa cerrada igual o superior a 100°F (37,8°C). Los líquidos combustibles se clasifican en Clase II o Clase III de acuerdo con lo siguiente [29]:

(a) “Líquido Clase II. Cualquier líquido que posee un punto de inflamabilidad igual o superior a 100°F (37,8°C) e inferior a 140°F (60°C)” [27].

(b) “Líquido Clase IIIA. Cualquier líquido que posee un punto de inflamabilidad igual o superior a 140°F (60°C), pero inferior a 200°F (93°C)” [27].

(c) “Líquido Clase IIIB. Cualquier líquido que posee un punto de inflamabilidad igual o superior a 200°F (93°C)” [27].

A continuación se muestra la clasificación (figura 4):

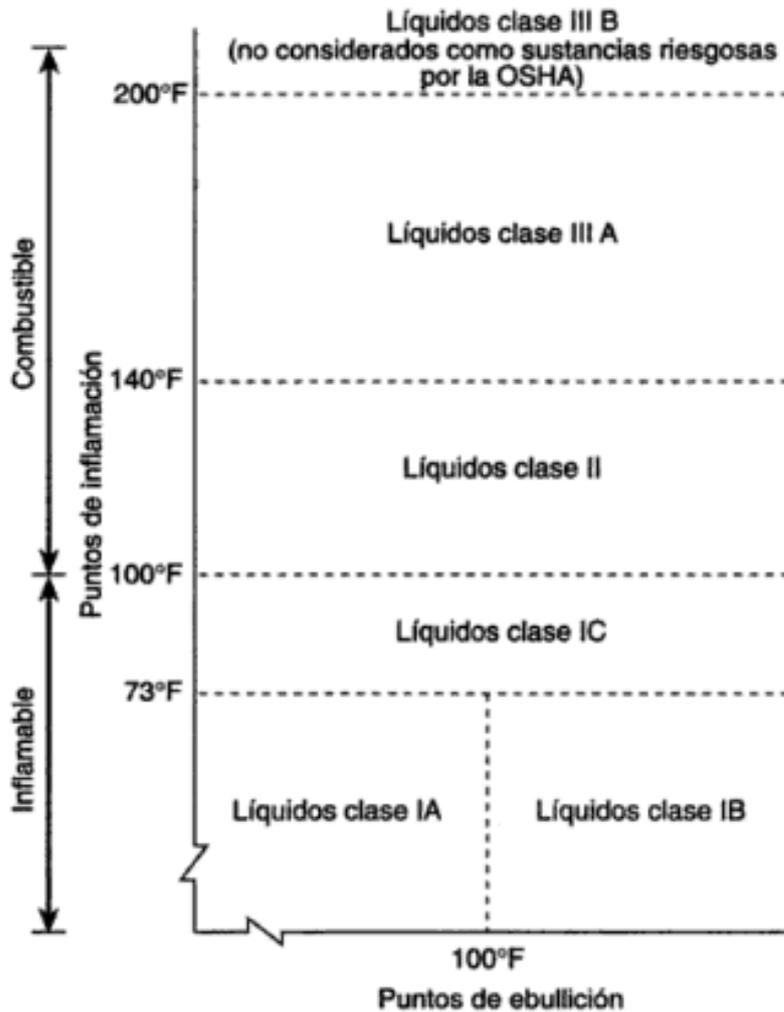


Figura 4: Clasificación de Líquidos inflamables y combustibles ^[30].

La clasificación de los líquidos inflamables también depende del punto de ebullición, y esto puede variar, ya que en general los líquidos no ebullen a una misma temperatura. El punto de ebullición está estrechamente relacionado a la volatilidad que se refiere a que tan rápido se evapora un líquido ^[30]. Los líquidos que se convierten fácilmente en vapores o gases y que contienen junto con el carbono, elementos como hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno, son sustancias químicas denominadas compuestos orgánicos volátiles (COV). ^[31]

Debido a sus propiedades, estos compuestos orgánicos se evaporan fácilmente por su alta volatilidad formando una mezcla con el aire, que a una temperatura determinada, es capaz de inflamarse.

Otra propiedad relacionada con la inflamabilidad de los compuestos es la viscosidad la cual “es una magnitud que representa la resistencia a fluir un fluido, o dicho en otras palabras, cuando dos capas de un fluido se mueven una en relación con la otra, se desarrolla una fuerza de fricción entre ellas y la más lenta trata de desacelerar a la más rápida. Esta resistencia interna al flujo se llama viscosidad, la cual es una medida de adherencia interna del fluido. La viscosidad es causada por las fuerzas de cohesión entre las moléculas en los líquidos. No existe fluido con viscosidad cero y, como consecuencia todos los flujos de fluidos comprenden efectos viscosos en algún grado. Los flujos en los cuales los efectos de viscosidad son significativos se llaman flujos viscosos. En algunos fluidos los efectos de viscosidad son muy pequeños y al despreciarlos se simplifica mucho el análisis sin mucha pérdida de precisión, estos se llaman fluidos no viscosos”^[32]. A mayor viscosidad, más espeso es el fluido; y a menor viscosidad, menos espeso.

La viscosidad de cualquier fluido cambia con la temperatura, esta se incrementa a medida que la temperatura desciende y disminuye a medida que la temperatura aumenta. Por lo tanto, el punto de inflamabilidad varía con viscosidad, debido a que la viscosidad de cualquier fluido cambia con la temperatura, a mayor viscosidad mayor punto de inflamabilidad^[33]. La viscosidad dinámica se mide en poise (p) o centipoise (cp). “La viscosidad cinemática de un fluido es el cociente entre su viscosidad dinámica y su densidad, ambas medidas a la misma temperatura. Sus unidades son Stokes (St) o centistokes (cSt)”^[33].

Por otro lado, al definir punto de inflamabilidad, se hace referencia a la presencia de una **fente de ignición** por lo que esta proporciona la energía de activación suficiente para que la reacción sea iniciada. La fuente de ignición se clasificada de acuerdo al origen del calor involucrado^[34], donde se hace especial énfasis en el tipo eléctrico al ser el empleado durante el desarrollo del método:

A. Eléctrica

“La energía eléctrica produce calor cuando la corriente eléctrica fluye a través de un conductor o salta un espacio de aire produciendo un arco eléctrico” [34]. Calor excesivo, suficiente para iniciar la ignición, puede ser producido por:

1. Una corriente alta.
2. Una alta resistencia
3. Una falla en la refrigeración o normal eliminación del calor

“Cuando la corriente eléctrica salta un espacio de aire la resistencia es tan alta que incluso una pequeña corriente produce una cantidad significativa de energía” [34]. Sin embargo, altas corrientes de arco a través de una atmosfera gaseosa pueden provocar la ignición.

A partir de lo anteriormente expuesto, este arco eléctrico o arco voltaico se puede definir como un fenómeno físico que se forma por el paso de una corriente entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial a través de una masa gaseosa [35]. Para producir un arco se ponen en contacto, brevemente, los extremos de dos electrodos, y se hace pasar una corriente intensa a través de ellos. Esta corriente provoca un gran calentamiento en el punto de contacto, al separarse los electrodos, se forma entre ellos una descarga luminosa similar a una llama. La descarga está producida por electrones que van de un electrodo a otro.

Otros tipos de fuentes de ignición pero de menor relevancia para esta investigación se citan a continuación:

B. Energía estática

La electricidad estática o electricidad por fricción, “corresponde a una acumulación de carga eléctrica en la superficie de dos materiales que se han unido y separado

después. Las superficies se cargan positiva y negativamente. Si estas sustancias no estuvieran conectadas o puestas a tierra podrían asimilar suficiente carga eléctrica para producir una chispa. Los arcos estáticos tienen generalmente muy corta duración y no producen suficiente calor para causar la ignición de materiales combustibles ordinarios tales como el papel. Algunos otros; sin embargo, son capaces de causar la ignición de gases o vapores inflamables o nubes de polvos combustibles.” [34].

C. Superficies calientes

“Un material combustible o inflamable puede ser encendido por contacto con o por calor radiante de una superficie calentada por medios distintos a la energía eléctrica” [34]. Estas son producidas por: la fricción, equipos de calefacción y sustancias fundidas.

1. La fricción puede ser causado por partes de máquinas rotas o mal alineadas, atascamiento de materiales y un mal ajuste de las unidades de la máquina. El calentamiento por fricción puede originar que se enciendan materiales combustibles cercanos [34].
2. Los equipos de calefacción ubicados muy cerca del almacenamiento de combustibles puede resultar en un incendio. El horno, calentador o una tubería de vapor expuesta puede encender materiales combustibles que estén en contacto con la superficie caliente o la circulación de aire es adecuada [34].
3. Sustancias fundidas como el metal o el vidrio pueden encender cualquier material combustible que se encuentre cercano [34].

D. Trabajos en caliente: Chispas y llamas abiertas

Las llamas abiertas pueden ser fijas o portátiles. Las primeras se encuentran en los hornos, calderas, termas y termos, podrían encender fluidos de combustibles como

vapores o gases inflamables. Las llamas portátiles, como quemadores, sopletes, pueden encender cualquier material combustible. Las chispas calientes o partículas fundidas por corte, soldadura o de operaciones mecánicas son fuentes de ignición comunes ^[34].

Energía mínima de ignición (E.M.I.) o Energía de activación

Es la energía mínima necesaria para iniciar la combustión de una mezcla inflamable. “Depende de la concentración del combustible en el aire. Los valores más bajos de la energía mínima de ignición se dan en las proximidades de la concentración estequiométrica y giran alrededor de 0,25 mJ a la presión del nivel del mar (1 atm)” ^[20].

La concentración de oxígeno y la presión son factores que afectan la energía mínima de ignición de mezclas de vapores o gases combustibles. “El aumento de O₂ reduce la energía mínima de ignición. A la presión de 1 atmósfera la menor E.M.I. de 0,26 mJ en aire, se reduce 0,002 mJ en oxígeno. Al disminuir la presión aumenta la E.M.I., en una proporción tal que reduciendo la presión a la mitad, la E.M.I. aumenta cinco veces” ^[20].

El valor de temperatura determinado del punto de inflamación de una sustancia se relaciona conjuntamente con su composición, la mezcla de vapor formada entre el oxígeno del aire y la sustancia que lo emite, debe estar a una concentración tal que permita producirse la inflamación ^[20], para tales efectos es necesario definir los límites para que dicha inflamación ocurra, cabe señalar que dichos límites varían de una sustancia a otra.

Límites de inflamabilidad

“Definen las concentraciones mínimas y máximas del vapor mezclado con el aire, en las que son inflamables. Se expresan en porcentaje de volumen de mezcla vapor

de combustible-aire” [20]. También son llamados de límites de explosividad, debido a las condiciones que se puedan suscitar de confinamiento, cantidad, intensidad de la fuente de ignición, aumenta la velocidad de la combustión y puede originar una explosión [20].

- Límite inferior de inflamabilidad (L.I.I.) o explosión: “concentración mínima de vapor o gas en mezcla con el aire, por debajo de la cual, no existe propagación de la llama al ponerse en contacto con una fuente de ignición” [20].
- Límite superior de inflamabilidad (L.S.I) o explosión: “concentración máxima de vapor o gas en aire, por encima de la cual, no tiene lugar la propagación de la llama, al entrar en contacto con una fuente de ignición”. [20]

El límite inferior de inflamabilidad está relacionado con el punto de inflamabilidad, siendo este último también definido como la temperatura mínima a la que la presión del vapor del líquido puede producir una mezcla inflamable en el límite inferior de inflamabilidad. Es decir, la temperatura mínima a la que se puede producir una concentración inflamable [20].

Para el L.I.I., “la disgregación de las moléculas no es suficiente para que la inflamación se produzca, es necesario además que el número de moléculas que se disgregan sea el suficiente para que, con el también imprescindible oxígeno del aire, comience la reacción de combustión” [36]. Al considerar el siguiente ejemplo como el caso de una cocina, si se abre la llave del gas y a la vez en el otro extremo de la cocina se prendiese un mechero, no ocurriría ningún efecto sobre el gas que se libera en la cocina, sin embargo si dejamos que la llave del gas siga vertiendo moléculas en este espacio y mantenemos la llama encendida al cabo de un cierto tiempo se produciría la inflamabilidad del gas. Este hecho es debido a que si se habla de gas propano, será necesario que en el espacio la concentración de este alcance el 2% del volumen total para comenzar la ignición, a este porcentaje es a lo que se denomina L.I.I. por debajo de este la inflamabilidad no ocurre en condiciones normales. [36]

Por otra parte, si esta vez dejamos que la cocina se llene de gas propano, sin una fuente de ignición presente, observaríamos que pasado un prolongado periodo de tiempo, cuando intentásemos encender la llama, curiosamente no se produciría ningún tipo de efecto, esto ocurrirá cuando la concentración de gas supere el valor del 10% del volumen total, y será como consecuencia de que la cantidad de oxígeno presente en el espacio no sea suficiente para reaccionar con la cantidad de gas existente. A esta concentración de gas sobre la cual no es posible que exista combustión, se denomina L.S.I. [36]

Rango de inflamabilidad

“Entre las cantidades comprendidas entre el L.I.I. y el L.S.I. existe una gama de concentraciones de gas que cuando se mezclan con el oxígeno del aire arden, a esta gama o rango de concentraciones se le denomina Rango de Inflamabilidad” [36]. Para cada vapor, gas, o mezcla de gases, existe una cierta concentración que produce una reacción efectiva, en este rango es donde mayor y notablemente se hace la intensidad con que se da el efecto de la ignición [36]. “Es en este rango donde la mezcla arde a la perfección, mientras que en los límites lo hace con cierta dificultad. Entonces, si se tiene un vapor o gas inflamable, con aire, más una fuente de ignición, este solo puede arder si se da la condición que el gas/gases se encuentre dentro de su rango/rangos de inflamabilidad (es decir, entre el LII y el LSI)” [36], como lo ilustra la figura 5.

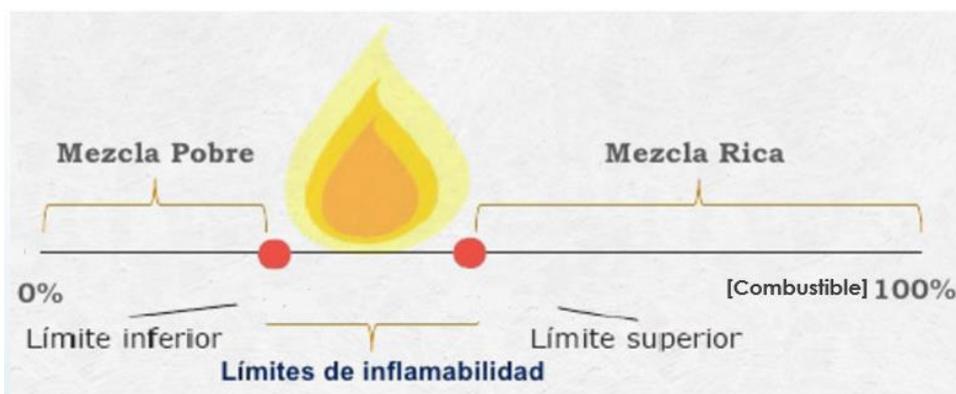


Figura 5: Rango de inflamabilidad [37].

Por ejemplo, al hacer una comparación con el motor de un carro, si se tiene un carburador al que no se le suministra la suficiente cantidad de combustible para que el motor funcione, es decir, la mezcla de gases es demasiado pobre, desde el punto de vista del combustible, no conseguirá arrancar. No obstante, un exceso de combustible que alimente al carburador originará el desbordamiento del motor con una mezcla demasiado rica en combustible, no consiguiendo funcionar tampoco. Cuando el carburador funcione correctamente, será cuando se haya alcanzado el valor de la mezcla ideal. [36]

Efecto de la presión sobre el punto de inflamabilidad

Los valores de los puntos de inflamabilidad, comúnmente están determinados a la presión que existe a nivel del mar y el cambio de la presión atmosférica tiene influencia sobre los mismos. Un aumento de presión incrementa el punto de inflamabilidad y una disminución de la presión lo reduce. Esta situación es más relevante en zonas de mayor altitud, donde la concentración inflamable se alcanza con más facilidad [20].

Por lo que es necesario aplicar un factor de corrección al momento de realizar las mediciones del punto de inflamabilidad, para corrección se aplica la ecuación 1 [27].

$$PI = C + 0,033^{\circ}C/mmHg(760mmHg - P) \quad (1)$$

Donde,

PI = punto de inflamabilidad corregido

C = punto de inflamabilidad observado en °C

°C= unidad de temperatura expresada en grados centígrados

P = presión barométrica en mmHg.

Efecto de la temperatura y la presión sobre la peligrosidad de un líquido inflamable.

Tal como se ha descrito existe relación entre el punto de inflamabilidad y el límite inferior de inflamabilidad, de forma que combinando el efecto de la temperatura y la presión se obtiene la representación mostrada en la figura 6 que nos da la variación del límite inferior de inflamabilidad según la temperatura y la presión. Esta representación es aplicable únicamente a líquidos o gases inflamables en equilibrio y en el interior de un recipiente cerrado [20].

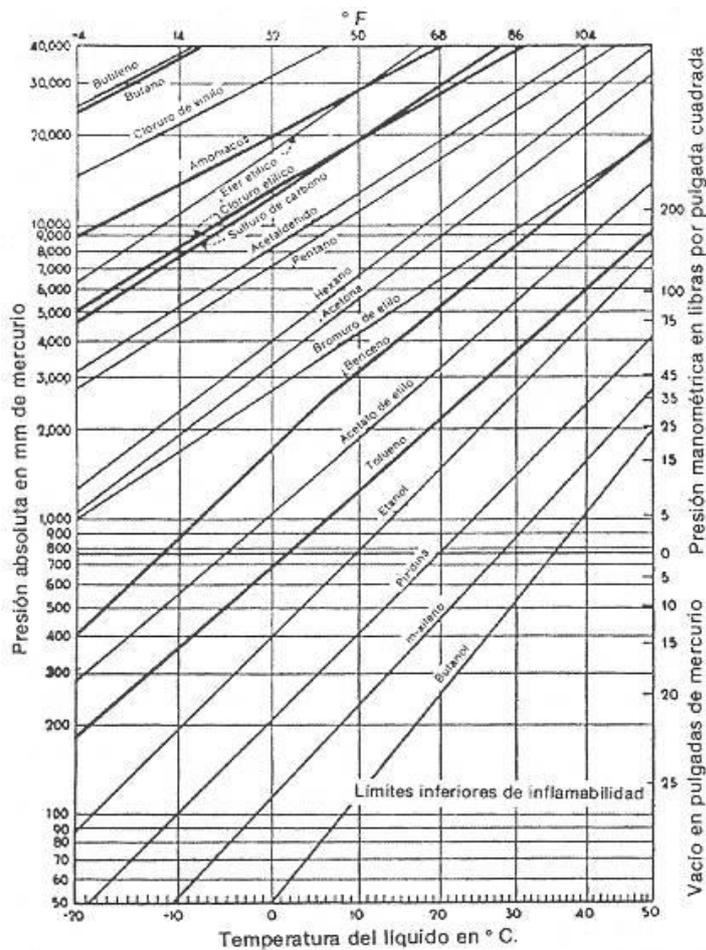


Figura 6: Variación del límite inferior de inflamabilidad según la temperatura y la presión [20].

Para interpretar esta representación se puede tomar cualquier línea dispone cada sustancia. En el caso de la línea del etanol se observa que el punto de corte con la línea horizontal de 760mmHg (1 atmosfera) se da aproximadamente a unos 10°, lo que indica la temperatura de inflamabilidad a la presión atmosférica [20]. “Las mezclas de vapor y aire serán demasiado pobres para entrar en ignición a temperaturas inferiores y a presiones superiores a los valores indicados por la línea correspondiente para cada producto. Así por ejemplo, el etanol a 5°C y 760mmHg o a 20°C y 2000mmHg no daría suficientes vapores para alcanzar el límite inferior de inflamabilidad. Las condiciones representadas por puntos a la izquierda y por encima de las respectivas líneas son, por lo tanto, no inflamables” [20]. Las abscisas de los puntos en que las líneas de cada sustancia cortan a la línea horizontal correspondiente a la presión absoluta de una atmósfera (760mmHg), indican el punto de inflamabilidad a la presión atmosférica normal [20].

Esta representación (figura 6) expresa condiciones de equilibrio, y fuera de él los valores existentes en una fase del proceso o manipulación pueden ser diferentes antes de que se alcance la condición equilibrio [20].

Principales métodos para la determinación del punto de inflamabilidad (PI)

Finalmente, para determinar el punto de inflamabilidad se han establecido varios métodos de ensayo y por lo general se suele emplear una pequeña llama como fuente de ignición. “El líquido se calienta lentamente desde una temperatura inferior y a incrementos crecientes de temperatura se aplica una llama de prueba a la cámara de vapor. El punto de inflamación es la temperatura a la cual se observa un destello al aplicarse la fuente de ignición” [20].

Los ensayos están normalizados en copa cerrada y en copa abierta. Los de copa cerrada pueden servir como referencia de peligro para aquellos procesos realizados dentro de recipientes y los de copa abierta para operaciones de

manipulación, trasvases con recipientes abiertos, derrames, etc. El punto de inflamación en copa abierta es un poco superior a la de copa cerrada [20].

Los instrumentos y procedimientos de prueba para determinar el punto de inflamación se han estandarizado en varios países y considerando las especificaciones de las normas ASTM que contiene diferentes métodos para dicha operación, se haya cuatro métodos principales:

NORMA ASTM D 92 - 05a: Método de Ensayo Estándar para la determinación del Punto de Inflamabilidad mediante copa Abierta Cleveland.

NORMA ASTM D 93 – 06: Método de Ensayo Estándar para la determinación del Punto de Inflamabilidad con Copa Cerrada de Pensky Martens.

NORMA ASTM D 56 – 05: Método de Ensayo Estándar para la determinación del Punto de Inflamabilidad por Probador de Copa Cerrada TAG.

NORMA ASTM D 3278-89: Método de Ensayo Estándar para la determinación del Punto de Inflamabilidad mediante copa Cerrada Setaflash.

El método de **copa abierta de Cleveland** se emplea para determinar el punto de inflamabilidad y combustión para productos del petróleo y otros líquidos, excepto aceites combustibles y materiales que tienen un punto de inflamabilidad por debajo de 79°C. [38]

Esta prueba puede conducir a resultados erróneos por pérdida de material volátil, por lo que utiliza en su equipamiento un marco protector.

La copa de prueba se llena hasta un nivel especificado. La temperatura de la muestra bajo prueba se incrementa rápidamente al inicio y luego lentamente, a una razón constante cerca del punto de inflamabilidad. A intervalos de temperaturas

específicas se pasa una pequeña llama de prueba a través de la copa; la temperatura más baja a la cual la aplicación de la llama de prueba, cause que los vapores por encima de la superficie del líquido se inflamen, se toma como punto de inflamabilidad [38].

El método de **copa cerrada Pensky Martens** se emplea para la determinación el punto de inflamabilidad de líquidos que poseen una viscosidad igual o superior a 5,5 centiStokes (cSt) a 40°C, ó igual o superior a 9,5cSt 25°C; a su vez, se emplea para líquidos que poseen un punto de inflamabilidad entre 40°C y 360°C [29]. Se utiliza para residuos líquidos, incluyendo aquellos que tienden a formar una película superficial. También se utiliza para determinar la inflamabilidad de los residuos líquidos que contienen sólidos suspendidos no filtrables. [39]

La muestra, con este método, se debe calentar a una velocidad constante y lentamente con agitación continua. Una llama pequeña se debe aplicar a la copa a intervalos regulares, interrumpiendo simultáneamente la agitación. El punto de inflamabilidad corresponderá a la temperatura más baja a la que la aplicación de la llama enciende el vapor sobre la muestra. [39]

El método de **copa cerrada TAG** a diferencia de la copa cerrada Pensky - Martens, emplea un baño líquido agua- etilenglicol alrededor de una porción de muestra que es calentada a velocidad constante y le es aplicada una llama de prueba a intervalos regulares. El punto de inflamabilidad es la temperatura más baja, corregida por presión barométrica, a la que la aplicación de la llama de prueba o la fuente de ignición hace que los vapores de la muestra hagan ignición [40]. Se utiliza para determinaciones de punto de inflamabilidad a líquidos con viscosidades menores a 5.5 cSt a 40°C o menor a 9.5cSt a 25°C de acuerdo a la norma ASTM D56, cuyos puntos de inflamabilidad sean menores a 93°C a excepción de líquidos que tiendan a formar una superficie o contengan sólidos en suspensión. [29]

La copa abierta de Cleveland es simple, está destinada a los aceites pesados y es el que mejor simula las condiciones laborales en las que se trabaja con recipientes

abiertos. El método de copa cerrada TAG es más usado que la copa cerrada Pensky-Martens. Generalmente, la copa cerrada es el que mejor se asemeja a las condiciones de los líquidos inflamables almacenados. [30]

La **copa cerrada Setaflash** se emplea para líquidos que presentan puntos de inflamabilidad entre 0°C y 110°C y viscosidades menores a 150 Stokes (St) a 25°C. Se emplea para determinar si un residuo se inflamará o no a una temperatura especificada o para determinar la menor temperatura finita a la que se inflamará el residuo [41].

A través de la puerta de entrada a prueba de fugas se introducen 2mL de muestra con una jeringa en el probador Setaflash o directamente en la copa que se calienta previamente hasta 3°C por debajo del punto de inflamación [41].

Este es un método de inflamabilidad/no inflamabilidad, ya que el punto de inflamabilidad esperado puede ser establecido. Para una prueba de especificación la temperatura del aparato se eleva hasta la temperatura precisa del punto de inflamación por medio de un ligero ajuste dial de temperatura. Al cabo de 1 minuto se aplica la llama de prueba dentro de la copa observando si la muestra se observa la inflamabilidad o no [41].

Este método también se aplica para la medición de puntos de inflamabilidad finitos aplicando la prueba a intervalos de 5°C hasta observar la llama y después a intervalos de 0,5°C en el rango donde fue observado [41].

En los anexos 1, 2, 3 y 4 se puede ver el diseño del equipo para cada método.

Para la determinación de punto de inflamabilidad cada uno de los principales métodos o métodos nuevos desarrollados se necesita confiabilidad en los resultados que reporta, para lo cual se debe contar con una exactitud y precisión dentro de los rangos teóricos establecidos como aceptables.

La precisión describe la reproducibilidad de los resultados. Se puede definir como la concordancia que existe entre los valores numéricos de dos o más mediciones que se han realizado de manera idéntica. Se suele medir los resultados de la precisión en términos de su desviación absoluta, relativa o la más ampliamente utilizada la desviación estándar. ^[42]

“El término exactitud denota el grado de coincidencia del resultado de una medición con el valor aceptado de la misma, y se expresa en función del error. La exactitud implica una comparación con el valor verdadero, o el aceptado como tal, mientras que, en contraste, la precisión compara un resultado con el mejor valor (media o mediana) de un grupo de varios de ellos, obtenidos del mismo modo.” ^[42]

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar un método para la determinación del punto de inflamabilidad de desechos peligrosos.

Objetivos específicos

- Estudiar los métodos de medición del punto de inflamabilidad para evaluar su posible aplicación.
- Diseñar el montaje para la determinación del punto de inflamabilidad.
- Optimizar el método para la medición del punto de inflamabilidad.
- Calibrar el equipo construido.
- Determinar los puntos de inflamabilidad de tres residuos o desechos presentes en el Laboratorio de Síntesis Organometálica.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

1. Metodología para el estudio de los métodos de medición del punto de inflamabilidad para evaluar su posible aplicación.

1.1 Se realizó una revisión bibliográfica de los métodos ya existentes para la determinación del punto de inflamabilidad, entre los que destacaron:

- Copa abierta de Cleveland
- Copa cerrada Pensky-Martens
- Copa cerrada TAG
- Copa cerrada Setaflash

1.2 Se realizó una comparación de métodos donde se tomaron en consideración las ventajas y desventajas que cada uno ofrece, así como los parámetros, características y propiedades de las muestras.

1.3 Se tomaron las condiciones más importantes relacionadas tanto al diseño del equipo, como instrumentos y materiales, hasta características de la muestra como punto de inflamación, volumen, viscosidad, entre otros, que se emplearon en el desarrollo del nuevo método.

2. Metodología para el diseño del montaje a fin determinar del punto de inflamabilidad.

2.1 Se recuperó una campana de presurización donde se realizó el montaje de equipo, la cual se limpió y se cambiaron fusibles para su uso (Ver anexo 5).

2.2 Se instaló un extractor dentro de la campana de presurización.

2.3 La campana se ubicó en una zona que permitió la extracción de los vapores de manera efectiva (Figura 7).

2.4 Se indicaron los pictogramas de peligro a los cuales se expone el operador.

2.5 Se construyó el montaje del equipo que consta de:

- Un matraz de tres bocas que funciona como contenedor de la muestra y donde se llevó a cabo la ignición.
- Una plancha de calentamiento como fuente de calentamiento del sistema.
- Una bobina de Tesla con punta y un cable conectado a tierra como fuente de ignición.
- Un termómetro de mercurio como instrumento de medición de temperatura.
- Un agitador magnético.
- Material de soporte (Soportes universales, pinzas, nueces, tapones).

2.6 El equipo se ensambla de la siguiente manera como muestra la figura 8.

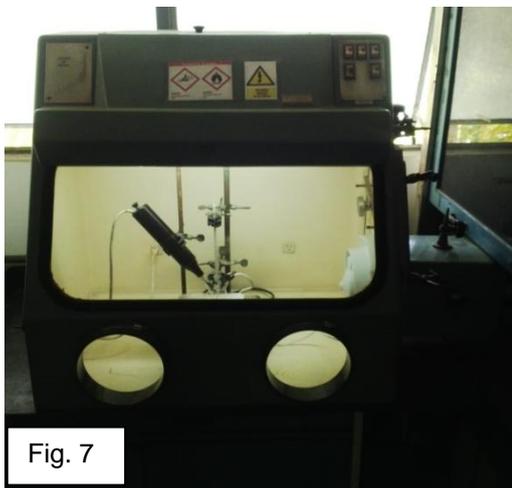


Figura 7 y 8: Equipo ensamblado bajo el método desarrollado

2.7 Se instaló un barómetro (Figura 9) para registrar la presión barométrica de ensayo.



Figura 9: Barómetro

3. Procedimiento para la optimización del método para la determinación del punto de inflamabilidad.

Se establecieron las condiciones del método de trabajo, donde se evaluaron tanto variables de la muestra como de los instrumentos, equipos y materiales utilizados.

- 3.1 Se estableció el tipo y volumen del contenedor de acuerdo a las características de los demás equipos e instrumentos utilizados.
- 3.2 Se midió el PI variando el volumen de la muestra.
- 3.3 Se estableció el volumen de la muestra dependiendo de la capacidad del contenedor escogido.
- 3.4 Se determinó la viscosidad de las muestras.
- 3.5 Se seleccionó el instrumento de medición de temperatura.

3.6 Se midieron los PI a diferentes alturas con fin de establecer la distancia óptima sobre la muestra para situar la fuente de ignición.

3.7 Se empleó la fuente de ignición de llama abierta como referencia para corroborar el PI de las muestras.

3.8 Se modificó la fuente de arco eléctrico variando la potencia para determinar los PI de las muestras.

Nota: El procedimiento experimental para la optimización del método, no fue realizado a través de pasos consecutivos donde las variables establecidas se mencionan independientemente, ya que al fijar una variable como óptima y conformar el equipo como un conjunto de otras condiciones, el procedimiento experimental se vio alterado en la secuencia de pasos seguidos.

4. Metodología para la calibración del equipo

Para la calibración del equipo se realizó el siguiente procedimiento:

4.1 Se calibró el termómetro utilizado midiendo punto de fusión con un tubo Thiele empleando los siguientes patrones hielo, 1,4-dibromobenceno, urea y ácido 3,5-dinitrobenzoico.

4.2 Para la calibración del equipo se emplearon los siguientes patrones 1-butanol, 1-pentanol, n-decano, 1-hexanol, 2-octanol, 1-nonanol, 1-decanol, alcohol bencílico y n-hexadecano; a los cuales se les midió el punto de inflamación por triplicado de la siguiente manera:

4.2.1 Se limpió completamente y se dejó secar el matraz de tres bocas, termómetro y agitador magnético y cualquier otro accesorio en contacto con la muestra con acetona como solvente.

- 4.2.2 Se aseguró que el equipo estuviese sobre una base fija y nivelada, libre de corrientes de aire.
- 4.2.3 Se añadieron 3mL del compuesto al matraz de tres bocas y se introdujo el agitador magnético. Se ajustó el equipo como lo muestra la figura 8.
- 4.2.4 Se encendió la plancha de calentamiento a 5°C por minuto y se ajustó la velocidad a 1°C por minuto cuando la temperatura fue 15°C menor al punto de inflamabilidad esperado.
- 4.2.5 Se encendió la agitación.
- 4.2.6 Se accionó la fuente de ignición cuando la temperatura fue 10°C menor al punto de inflamabilidad esperado al mismo tiempo que se detuvo la agitación apagando la plancha, esto se realizó cada 1°C.
- 4.2.7 Se registró el punto de inflamabilidad observado en la lectura del termómetro al momento en que se forma un destello dentro del matraz.
- 4.2.8 El punto de inflamabilidad observado fue corregido a la presión barométrica de ensayo.
- 4.2.9 Se encendió el sistema de ventilación, y se purgo la campana y el equipo.
- 4.3 Este procedimiento se llevó a cabo para cada uno de los patrones.
- 4.4 Se construyó la curva de calibración del equipo de la temperatura observada en función de la temperatura reportada en la literatura.

4.5 Se determinó el PI de una muestra problema siguiendo los pasos de 4.2.1 a 4.2.9.

5. Metodología para la determinación los puntos de inflamabilidad de los residuos o desechos presentes en el Laboratorio de Síntesis Organometálica.

5.1 Se escogieron cinco (5) desechos provenientes del laboratorio de síntesis organometálica y del galpón de desechos de la escuela de química.

5.2 Limpieza del equipo y preparación del equipo: Se llevó a cabo el procedimiento descrito en la sección 4.2.1 y 4.2.2.

5.3 Determinación del punto de inflamabilidad de residuos o desechos líquidos:

5.3.1 Se introdujeron 3mL del desecho en el matraz de tres bocas y se introdujo el agitador magnético.

5.3.2 Se introdujeron la bobina de tesla con punta y el cable aterrado por las bocas angulares del matraz y por la boca central se introdujo el termómetro de mercurio.

5.3.3 Se encendió la plancha de calentamiento a una velocidad de 1°C/min y la agitación.

5.3.4 Se encendió la fuente de ignición, interrumpiendo antes la agitación apagando la plancha, haciendo un barrido cada 5°C.

5.3.5 Se registró la temperatura observada en la lectura del termómetro al momento en el que se produce un destello dentro del matraz.

- 5.3.6 Se tomaron nuevamente 3mL del desecho y se llevó a cabo lo descrito en la sección de 4.2.1, 4.2.2 y de 5.3.1 a 5.3.4.
- 5.3.7 Se encendió nuevamente la fuente de ignición, interrumpiendo antes la agitación apagando la plancha, unos 5°C por debajo del punto de inflamación preliminar cada 1°C.
- 5.3.8 Se registró el punto de inflamación observado en la lectura del termómetro al momento en el que se produce un destello dentro del matraz.
- 5.3.9 Se registró la presión barométrica de ensayo.
- 5.3.10 Se realizó las medidas tres veces para cada desecho, asegurándose de purgar bien el matraz de tres bocas.

Nota: Para algunos desechos no fue posible medir su punto de inflamabilidad bajo este método lo cual se discutió más adelante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- **Resultado de la evaluación de los principales métodos para la determinación del punto de inflamabilidad**

La revisión de los métodos ya establecidos permitió crear un enfoque general de las condiciones a tomar en cuenta para el desarrollo del nuevo método. Estos métodos son copa abierta de Cleveland, copa cerrada Pensky-Martens, copa cerrada TAG y copa cerrada Setaflash.

A continuación en la tabla 1 se mostraran las características que cada método ofrece.

Tabla 1: Características de los principales métodos para la determinación del punto de inflamación.

Copa Abierta de Cleveland	Copa cerrada Pensky-Martens	Copa cerrada TAG	Copa cerrada Setaflash
Sistema abierto	Sistema cerrado	Sistema Cerrado	Sistema cerrado
Se aplica a líquidos con un PI entre 79°C y 400°C.	Se aplica a líquidos con un PI entre 40°C y 360°C.	Se aplica a líquidos con PI menor a 93°C	Se aplica a líquidos con un PI entre 0°C y 110°C
Se aplica a productos del petróleo y otros líquidos. No aplica a aceites combustibles	Se aplica a líquidos homogéneos y no homogéneos, líquidos que forman una película superficial bajo las condiciones	No se aplica a líquidos que tienden a formar una capa superficial bajo las condiciones de ensayo o materiales que	Se emplea para determinar si un residuo se inflamará o no a una temperatura especificada. Y para PI finitos.

	de ensayo y líquidos con sólidos suspendidos.	contienen sólidos suspendidos	
Volumen de muestra 75mL	Volumen de muestra 75mL	Volumen de muestra 50mL	Volumen de muestra 2-4mL

Al comparar las características de los principales métodos y observar el diseño de cada uno de los equipos mostrado en las figuras 20, 21, 22 y 23 (Anexo 1, 2, 3 y 4), se tomaron en consideración los aspectos más importantes que se emplearon en el desarrollo del nuevo método, donde se tuvo como referencia el método de copa cerrada Pensky-Martens, ya que involucra un sistema cerrado. Este método fue seleccionado debido a que simula mejor condiciones de almacenaje o procesos realizados dentro de recipientes, a diferencia de la copa abierta que simula operaciones de manipulación, trasvases con recipientes abiertos, derrames, entre otros. De igual modo, a diferencia de otros sistemas cerrados no implica el uso de un baño líquido o caja refrigerante para sustancias con puntos de inflamabilidad bajos.

Se obtuvo que el equipo se debía diseñar:

- Empleando material existente en el laboratorio.
- Como un sistema cerrado para evitar resultados erróneos o que implicaran pérdidas del material volátil.
- Con una fuente ignición capaz de inflamar la muestra.
- Empleando la mínima cantidad de muestra que ofreciera resultados satisfactorios.
- Para muestras con un PI mayor a la temperatura ambiente, para evitar el uso de un baño líquido o caja refrigerante.
- Con manejo sencillo del equipo
- Considerando las medidas de seguridad respectivas tanto de protección personal y de señalización.

- **Diseño del montaje para la determinación del punto de inflamabilidad**

Para darle utilidad a un equipo (Ver anexo 5, figura 24) que se hallaba en desuso y deteriorado en el laboratorio, se acondiciono una campana de presurización la cual se limpió, se cambiaron fusibles que se encontraban quemados y se ubicó en una posición (Ver anexo 5, figura 25) que tenía buen acceso a las salidas en caso de emergencia. Sin embargo, esta posición fue cambiada y se reubico al considerar el sistema de extracción de una manera más efectiva. La campana recuperada fue ideal para evitar corrientes de aire que interfirieran con los resultados.

El sistema de extracción se instaló dentro de la campana recuperada como sugiere la figura 26 (Ver anexo 5), lo que permitió la eliminación de los vapores al dirigirlos a una campana de extracción fija como se observa en la figura 7. Dicho sistema cumple dos funciones al eliminar los vapores emanados tras cada medida, primero evita la acumulación de estos en el interior de la campana y además sirve como medida de seguridad al operario al evitar que dichos vapores sean inhalados por él.

Se añadieron pictogramas de peligro según el sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (ver anexo 6), indicando el peligro al cual se expuso el operador. Para casos de emergencia, se añadieron señalizaciones que indican la ubicación del dispositivo de seguridad lavaojos y la ducha de emergencia (ver anexo 7).

El montaje se ensambló como muestra la figura 8. Sobre la plancha de calentamiento se situó el matraz de tres bocas. En un extremo la bobina de tesla con punta y en el otro extremo el cable conectado a tierra. Por la boca central se ubicó el termómetro. Los equipos e instrumentos están fijados con ayuda de un soporte universal.

El fácil manejo de la campana de presurización fue ideal, ya que permitió controlar el encendido y apagado de la plancha de calentamiento y la bobina de tesla con punta desde el exterior de la campana, lo que favorece a la seguridad del usuario al no tener que exponer ninguna parte de su cuerpo dentro de la campana y brinda mayor confianza al trabajar con este equipo que es altamente peligroso ya que si no se hace uso correcto de él puede ocasionar descargas eléctricas, quemaduras o pérdidas fatales. Por lo que es muy provechoso manejar el encendido y apagado a través de los controladores desde la parte externa de la campana. Por último, se instaló un barómetro para registrar la presión barométrica de ensayo a unos metros de la ubicación del equipo

- **Optimización del método para la determinación del punto de inflamabilidad.**

La optimización del método contó con la evaluación de diversas variables, muchos de ellos dependientes entre sí y al establecer alguna condición como óptima se tuvo que evaluar nuevamente el funcionamiento del equipo como un conjunto. Como parte de la optimización, el diseño del equipo se desarrolló en conjunto, el método pasó por varios procesos donde se evaluaron diversas características a medida que obtenían los mejores resultados.

Inicialmente se planteó el diseño del equipo a medida que se fueron evaluando las condiciones de este, el diseño se fue modificando hasta obtener el resultado final. Primeramente se tomó en consideración un sistema cerrado, al establecer el tipo de contenedor este tenía que permitir observar el punto de inflamabilidad. El material del contenedor fue de vidrio, inicialmente fue un reactor con una sola entrada, el cual permitía observar la inflamabilidad; en este punto se midió el PI variando el volumen de la muestra y los resultados se contemplan en la tabla 2 y figura 10. Posteriormente se utilizó un beaker considerando un sistema abierto y finalmente se utilizó un matraz de tres bocas el cual fue escogido considerando las demás variables del método. Para

cada uno de estos tipos de contenedores se varió el volumen de estos y se obtuvo los resultados (Tabla 3 y 5).

Se tomó como muestra un material de referencia certificado, n-decano (PI teórico 51°C) y se procedió a realizar las mediciones cada 1°C a medida que se fue incrementando la temperatura.

Tabla 2: Punto de inflamabilidad variando el volumen de la muestra

Compuesto	Reactor	H Fuente	Volumen	PI(°C)
n-Decano	100ml	1,5cm	10ml	60 ±1
			12ml	60 ±1
			14ml	59 ±1
			16ml	58 ±1

Donde,

H Fuente = Altura de la Fuente

PI = Punto de inflamación

Al observar la tabla 3 podemos notar que no hay mucha diferencia entre los valores observados para distintos volúmenes, los cuales no son exactos al estar un poco alejados del valor esperado pero son reproducibles.

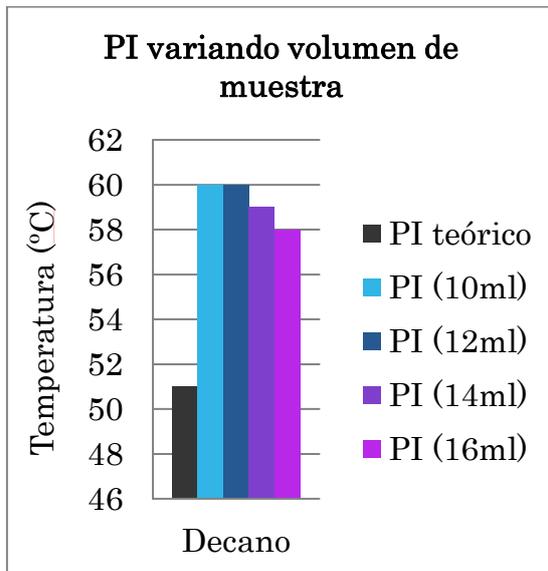


Figura 10: Punto de inflamabilidad variando el volumen de la muestra

Los valores obtenidos se pueden comparar con la investigación de Shuvalov [10], debido a que se obtuvo resultados similares donde el volumen de la muestra no afecta el PI de la sustancia. Por otra parte, la poca exactitud es causada por otra variable que se estudió más adelante. Esta variable a pesar de ser estudiada, el resultado arrojado fue lo que se esperaría independientemente del volumen utilizado.

Para la evaluación del tipo y volumen del contenedor, para el caso del reactor se evaluó otro material de referencia, en este caso un alcohol primario 1-butanol (PI teórico 37°C).

Tabla 3: Punto de inflamabilidad variando del volumen del contenedor (Sistema cerrado)

Compuesto	Volumen contenedor	Altura Fuente	Volumen muestra	PI(°C)
n-Decano	Reactor 60ml	1,5cm	16ml	X
	Reactor 100ml			58 ± 1
	Reactor 450ml			60 ± 2
1-Butanol	Reactor 60ml	1,5cm	16ml	X
	Reactor 100ml			X

	Reactor 450ml			X
--	---------------	--	--	---

En la tabla 3, la "X" indica que no hubo inflamabilidad durante el proceso de medición. A su vez para el caso del 1-butanol no fue posible determinar el PI para ninguno de los reactores al considerar un sistema totalmente cerrado. Solo fue posible con n-decano para el reactor de 100ml y de 450ml. Esto nos permite concluir que el contenedor utilizado no es apropiado para todas las muestras. Aunque hubo inflamabilidad en algunos casos, los resultados obtenidos para el n-decano siguen siendo poco exactos al compararlos con el valor teórico reportado, los cuales pueden ser verificados en el anexo 9.

Por otra parte, como se presentó en el fundamento teórico, solo una cierta gama de concentraciones de gas del compuesto en combinación con el oxígeno del aire forman una mezcla inflamable [36], es decir, al sobrepasar los límites tanto inferiores o superiores de dichas mezclas no ocurrirá la inflamabilidad. Para evaluar este aspecto, se calculó el volumen mínimo del compuesto necesario que se debe evaporar para que en un reactor de 100mL se alcance el límite inferior de inflamabilidad, para ello a cada compuesto se tomó el L.I.I. y el resultado se muestra en la tabla 4, al mismo tiempo experimentalmente se midió dicho valor.

Tabla 4: Volumen mínimo de gas para alcanzar el Límite Inferior de Inflamabilidad.

Compuesto	Límites de inflamabilidad	Vgas	VgasExp
n-Decano	0,6-5,4 %V	0,6ml Reactor 100ml	0,6 ± 0,2 ml
1-Butanol	1,4-11,2 %V	1,4ml Reactor 100ml	0,2 ± 0,1 ml

Donde:

Vgas = volumen del gas mínimo necesario para formar una mezcla inflamable (Calculado).

$V_{\text{gas Exp}}$ = volumen de gas producido para formar la mezcla inflamable (experimental).

La tabla 4 muestra como para el compuesto n-decano, el volumen de gas medido experimentalmente concuerda con el calculado, por lo cual se encuentra en el L.I.I. y puede medirse su punto de inflamabilidad lo cual se ajusta con las tablas 2 y 3 donde se utilizó un reactor de 100mL. Por el contrario, el 1-butanol muestra que solo 0,2mL se encuentran en forma de gas lo cual no es suficiente para formar la mezcla inflamable, la cual requiere de 1,4mL del gas para alcanzar el L.I.I. Esto nos permite confirmar, que el rango de inflamabilidad de cada compuesto juega un papel importante en el momento de realizar las mediciones, ya que depende de las concentraciones producidas por las mezclas y que en efecto el estar fuera de los límites evita que se produzca la inflamabilidad.

Seguidamente para la evaluación de otro tipo de contenedor, el beaker simuló un sistema abierto, los resultados se muestran en la tabla 5 y se consideraron otros compuestos más de la familia de alcanos y alcoholes.

Tabla 5: Punto de Inflamabilidad variando del volumen del contenedor (Sistema abierto)

Compuesto	H Fuente	Beaker	PI experimental (°C)	PI teórico(°C)
n-Decano	1,5cm	150ml	66 ± 2	51
		50ml	64± 1	
n-Hexadecano		150ml	146± 1	134
		50ml	146± 2	
n-butanol		150ml	53 ±1	37
		50ml	53 ± 1	
1-Pentanol		150ml	68 ± 1	49
		50ml	66 ±2	
1-Nonanol		150ml	106 ± 1	95
		50ml	109 ±1	

Al comparar los resultados experimentales con los valores teóricos se puede notar que los valores obtenidos están muy por encima de los reportados. Esto se debe a que al estar en un sistema abierto fácilmente los vapores se pueden dispersar sobre el beaker haciendo que se tenga que incrementar la temperatura de la muestra para alcanzar la concentración adecuada para inflamar los vapores sobre la muestra. Por lo tanto este tipo de contenedor no es el óptimo.

Finalmente el contenedor escogido fue un matraz de tres bocas que simula un sistema parcialmente cerrado, el cual fue determinado por la fuente de ignición que se discutirá más adelante. Para este matraz se estableció el volumen de muestra mínimo utilizado (3ml) el cual fue escogido de acuerdo a las características de otras variables como altura de la fuente ignición, volumen del matraz y limitaciones propias de la fuente de ignición al acoplarse con el matraz, evaluadas en conjunto.

Otra variable que implica la muestra es la viscosidad, la cual se determinó experimentalmente y se comparó con el rango que establecen los métodos estudiados como lo muestra la tabla 6. La temperatura al momento de realizar las medidas fue 25°C a 100rpm. Los valores obtenidos fueron en centiPoise (cP) y convertidos a centiStokes (cSt).

Tabla 6: Viscosidad de diversos compuestos

Compuesto	Viscosidad (cP)	Viscosidad (cSt)
n-butanol	2,97	3,66
1-pentanol	3,63	4,46
n-decano	1,53	2,09
1-hexanol	4,84	5,90
2-octanol	6,81	8,41
1-nonanol	9,75	11,75
1-decanol	14,1	16,99
Alcohol bencílico	5,49	5,23

n-hexadecano	3,54	4,60
--------------	------	------

Según los métodos revisados, la copa cerrada Pensky-Martens se utiliza para líquidos con viscosidades mayores a 9,5cSt a 25°C, la copa cerrada Tag se utiliza para líquidos con viscosidades menores a 9,5cSt a 25°C (poco viscosos), la copa cerrada SetaFlash para líquidos con viscosidades menores a 15.000cSt a 25°C y la copa abierta de Cleveland no establece ninguna limitante en cuanto a viscosidad. Se podría establecer una relación entre el método copa cerrada Tag para líquidos con PI bajos (poco viscosos) y copa cerrada Pensky-Martens para líquidos con PI más altos (mas viscosos), sin embargo la copa cerrada SetaFlash (para líquidos con PI de 0°C-110°C) que ocupa un rango de PI similar que copa cerrada Tag (para líquidos con PI menor a 93°C) incluye una gran gama de líquidos que están por debajo de 15.000 cSt de viscosidad. Por lo tanto, se puede decir que la variable viscosidad no afecta el desarrollo de nuestro método para los líquidos evaluados al observar, los valores en la tabla 6 y compararlo con los rangos establecidos por cada método. Nuestro método se desarrolló para líquidos con PI entre 36°C y 135°C, y viscosidades entre 2,09cSt y 16,99cSt lo cual abarca el rango de PI de copa cerrada Pensky-Martens (para líquidos con PI entre 40°C-360°C), y engloba el rango de PI y viscosidad de copa cerrada Tag y copa cerrada SetaFlash.

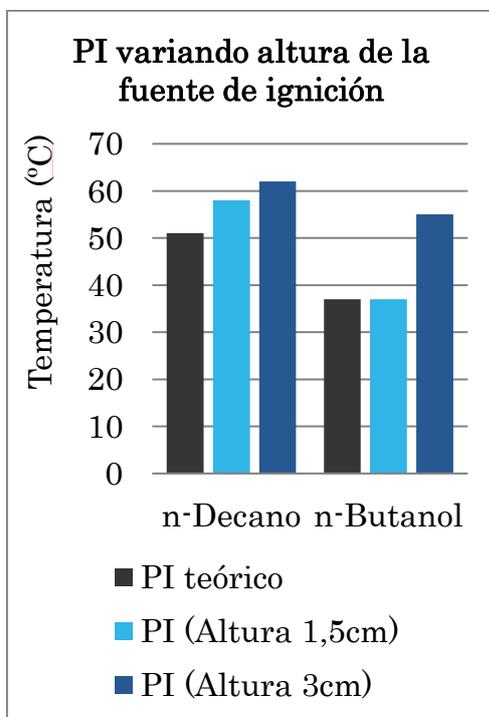
El instrumento de medición de temperatura se escogió de acuerdo al tipo de contenedor y la fuente de ignición. Inicialmente se utilizó un termopar, pero por cuestiones operacionales y a fin de evitar un posible daño del equipo este fue reemplazado por un termómetro de mercurio, el cual no sufriría ningún daño al estar cerca o en contacto con la fuente de ignición. De igual forma al comparar los valores obtenidos por estos dos instrumentos, solo había una diferencia de un grado entre ambos, lo cual se ajustó más adelante mediante la calibración del termómetro.

Para establecer la altura óptima a la cual se debe colocar la fuente de ignición se hizo una comparación midiendo el PI a diferentes alturas como lo muestra la tabla 7.

Tabla 7: Punto de Inflamabilidad variando la altura de la fuente de ignición

Compuesto	PI teórico	PI(Altura 1,5cm)	PI (Altura 3cm)
n-Decano	51	58	62
n-Butanol	37	37	55

Otra manera de representarlo, es mediante la figura 11 que se observa a continuación.

**Figura 11:** Punto de inflamabilidad variando la altura de la fuente de ignición.

Se puede observar como al incrementar la altura el PI es más alto, esto se debe a la formación de un gradiente de concentración de vapor que se va formando sobre la muestra. Al estar más cerca de la superficie donde se forman los vapores es más fácil alcanzar el rango de concentración de la mezcla inflamable y mientras más alejado se encuentra se debe incrementar la temperatura para que se forme la mezcla de vapor suficiente que alcance la concentración mínima a esa altura. En el caso del n-decano se determinó que la altura de 1,5cm no era influyente en el valor que se

venía observando con variables ya estudiadas, por lo tanto el origen de la poca exactitud se evaluó en la próxima variable de estudio. Por lo tanto, la altura se estableció para 1,5cm sobre la superficie de la muestra.

Para la fuente de ignición, se evaluó la fuente de clase eléctrica mediante la formación de arco eléctrico, a su vez se determinaron los puntos de inflamación utilizando una llama abierta para tener una referencia de los valores de las muestras. La altura utilizada fue la que se estableció como óptima y se simuló el sistema abierto utilizando un beaker. El sistema abierto permitió evaluar el arco eléctrico (bajo voltaje) bajo las mismas condiciones que los valores de la llama usados como referencia.

Tabla 8: Punto de Inflamabilidad de diferentes compuestos variando la fuente de ignición.

Compuesto	H Fuente	Beaker	Tipo fuente	PI experimental (°C)	PI teórico (°C)
n-Decano	1,5cm	150ml	Llama	58 ± 1	51
			Arco Eléctrico	66 ± 2	
n-Hexadecano		150ml	Llama	129± 1	134
			Arco Eléctrico	146± 1	
1-butanol		150ml	Llama	33 ± 1	37
			Arco Eléctrico	53 ± 1	
1-Pentanol		150ml	Llama	48 ± 1	49
			Arco Eléctrico	68 ± 1	
1-Nonanol		150ml	Llama	97± 1	95
			Arco Eléctrico	106 ± 1	

El arco eléctrico fue construido empleando una bobina y un regulador de voltaje, del cual se extendían dos cables con dos puntas metálicas que al estar cerca pero no en contacto producían un arco eléctrico.

Los resultados colocados en la tabla 8 muestra como los valores registrados por el arco eléctrico (bajo voltaje) se encuentran muy por encima de los reportados y los medidos como referencia por la llama abierta. Estos resultados nos llevaron a realizar un cambio en el origen de la formación del arco eléctrico aumentando el voltaje, por lo cual se utilizó una bobina de Tesla con punta que es un tipo de transformador constituido por dos circuitos eléctricos acoplados, capaz de conseguir altísimas diferencias de potencia [43], que al estar cerca de un material conductor envía la corriente la cual se puede observar como un arco eléctrico con mayor fuerza e intensidad. El material conductor para formar este nuevo arco fue un cable mucho más grueso y resistente el cual fue llevado a tierra. En la tabla 9, podemos observar los resultados obtenidos por la modificación, manteniendo las condiciones descritas anteriormente y en la figura 12 se puede apreciar de manera resumida los resultados expuestos en la tabla 8 y 9.

Tabla 9: Punto de inflamabilidad en sistema abierto utilizando una bobina de Tesla para diferentes compuestos.

Compuesto	H Fuente	Beaker	PI experimental (°C)	PI teórico (°C)
n-Decano	1,5cm	150ml	52 ±1	51
n-Hexadecano		150ml	133± 1	134
1-butanol		150ml	37 ± 1	37
1-Pentanol		150ml	51 ± 1	49
1-Nonanol		150ml	94 ± 1	95

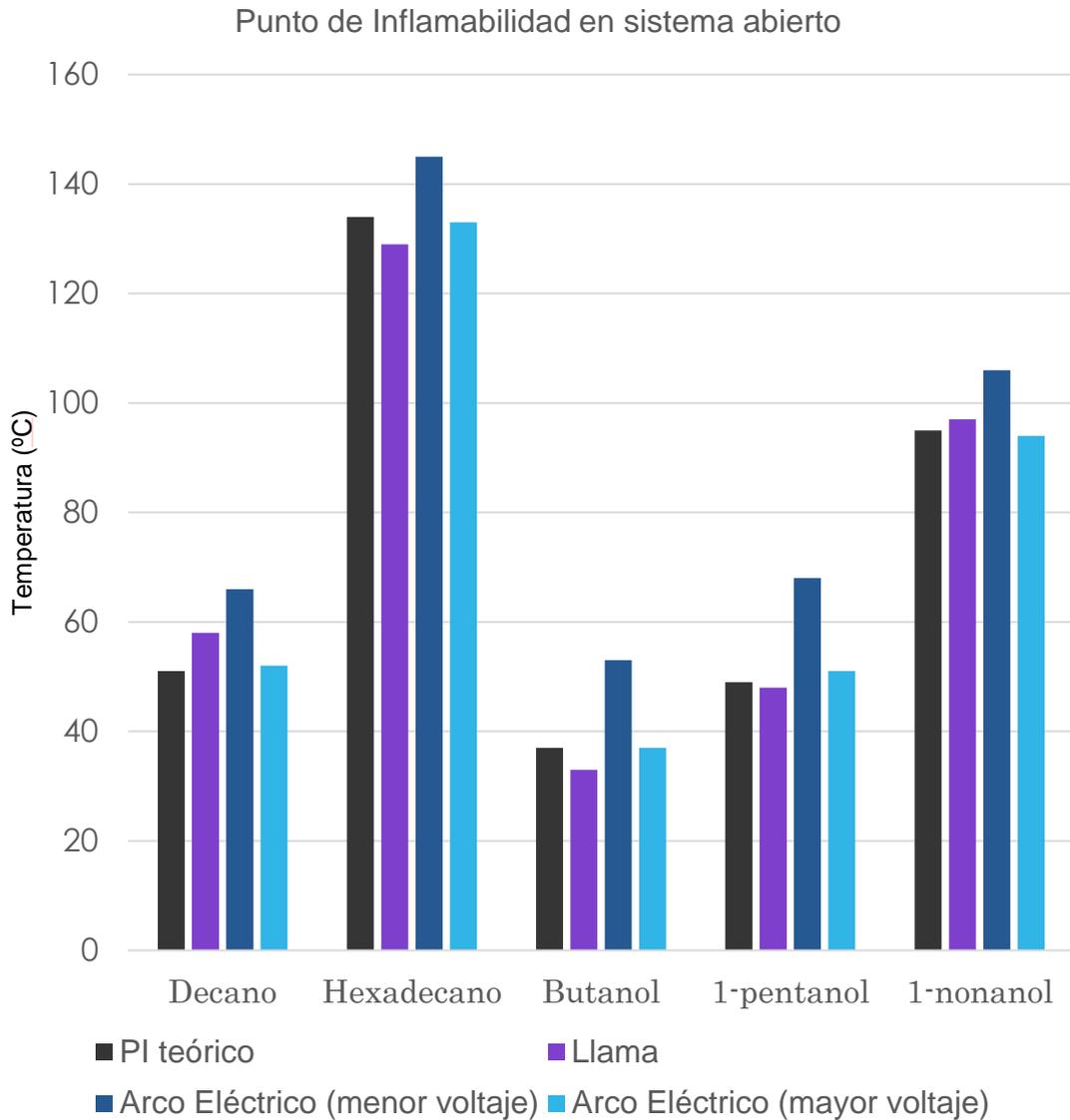


Figura 12: Punto de inflamabilidad en sistema abierto.

Estos resultados muestran claramente como al aumentar el voltaje producido por la bobina de Tesla, la cual genera una diferencia de potencial entre 20.000 - 50.000 voltios^[44], sobre la mezcla inflamable, estos son más exactos al estar dentro del rango de valores teóricos. Como se propuso inicialmente el fin fue trabajar en un sistema cerrado a fin de generar datos más confiables. Sin embargo, dado que la bobina de tesla con punta es de un tamaño más grande es imposible adaptarla al reactor que en un principio se propuso, por lo que el contenedor fue modificado como inicialmente se mencionó y adaptado para formar un sistema parcialmente cerrado. El contenedor es

un matraz de 25mL con tres bocas, donde se situaron el termómetro, la bobina y el cable conectado a tierra respectivamente como lo muestra la figura 13.



Figura 13: Matraz de tres bocas de 25ml (contenedor de la muestra)

Para probar el funcionamiento de este sistema parcialmente cerrado, se ajustaron los instrumentos y variables en conjunto. El resultado se muestra en la tabla 10 con un volumen de muestra de 3ml.

Tabla 10: Punto de inflamabilidad en sistema parcialmente cerrado utilizando una bobina de Tesla para diferentes compuestos

Compuesto	H Fuente (cm)	PI exp (°C)	PI teo (°C)
n-Decano	1,5cm	51 ±1	51
n-Hexadecano		135± 1	134
1-butanol		37 ± 1	37
1-Pentanol		51 ± 1	49
1-Nonanol		94 ± 1	95

Los resultados expuestos en esta tabla muestran valores satisfactorios, los cuales son bastante precisos y exactos. Estos pueden ser comparados en la figura 14 para el sistema abierto representado por la franja azul claro y el sistema parcialmente cerrado representado por la franja rosada, utilizando la bobina de tesla con punta. El sistema parcialmente cerrado obtuvo resultados más próximos dentro del rango esperado en comparación con el sistema abierto, logrando mayor exactitud por lo que se logró optimizar el equipo adecuadamente.

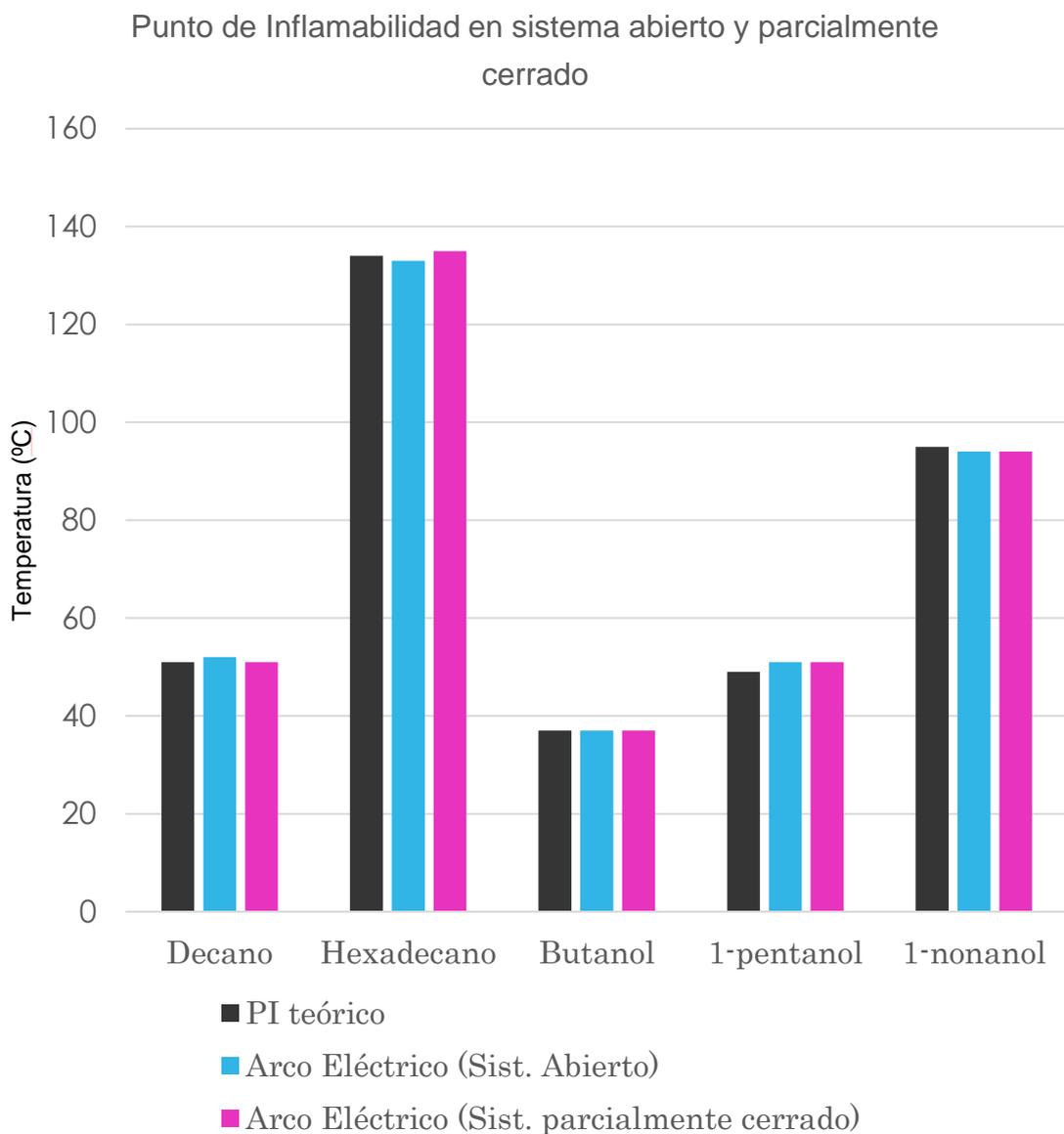


Figura 14: Punto de Inflamabilidad en sistema abierto y parcialmente cerrado.

- **Calibración del equipo**

Para la calibración del equipo, se llevó a cabo primeramente la graduación del instrumento de medida al cual se midió el punto de fusión con un tubo Thiele. La figura 15 muestra el resultado de la curva de calibración del termómetro.

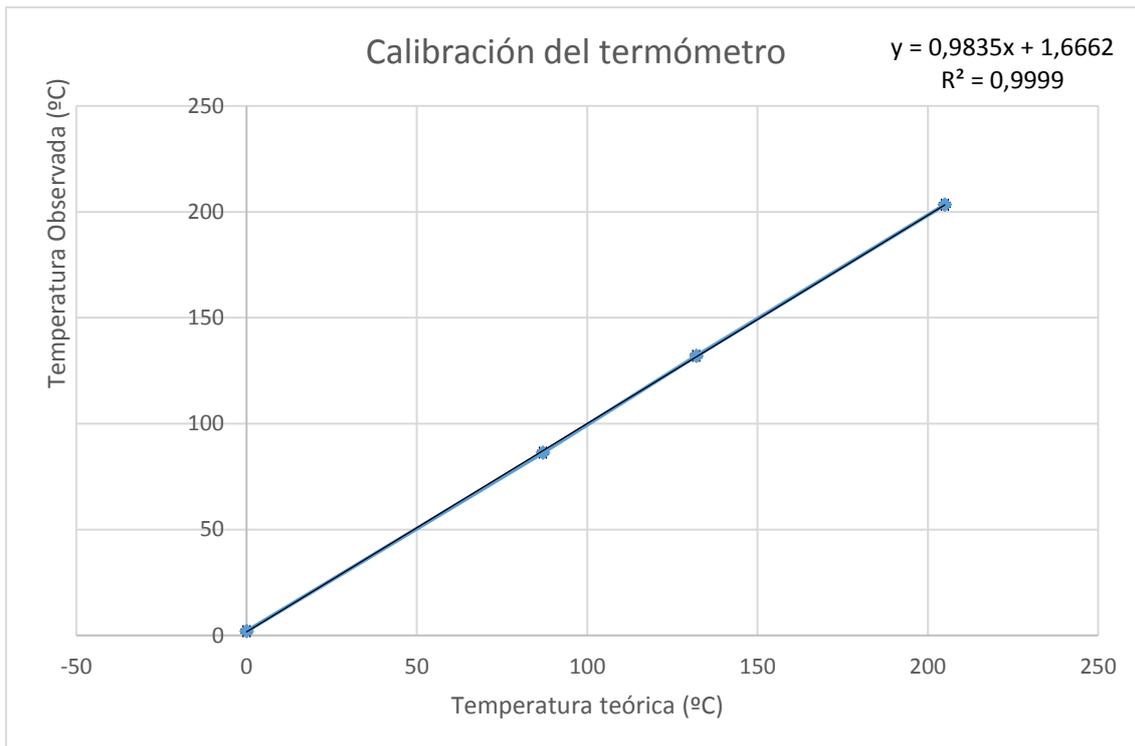


Figura 15: Curva de calibración del termómetro.

La curva de calibración del termómetro nos muestra un comportamiento bastante bueno, las temperaturas medidas experimentalmente están muy cercanas a las teóricas, y la pendiente de la recta es aproximadamente 1, lo que muestra que el termómetro fue ideal para las medidas, igualmente con la ecuación de la recta se ha obtenido el valor corregido de las temperaturas observadas. La calibración del termómetro se llevó a cabo para determinar los valores exactos que mide éste de sustancias patrón (puras) cuyos puntos de fusión ya estaban determinados.

Seguidamente, se llevó a cabo la calibración del equipo utilizando los patrones mencionados en la sección 4.2 de la metodología experimental, las medidas se

realizaron libres de corrientes de aires para evitar que las medidas se afectaran. A su vez, la temperatura se elevó y se midió a 1°C/min para permitir alcanzar la mezcla inflamable sin incurrir en un exceso de calor que alterará el valor medido. Esto es importante ya que velocidades mayores a estas cercanas al punto de inflamación se pueden ver afectadas debido al calor convectivo y los procesos de transferencia de masa en el líquido. La intensidad de la convección térmica aumenta a medida que aumenta la velocidad de calentamiento y, como consecuencia, punto de inflamabilidad es reducido [10].

Las medidas de cada patrón se realizaron por triplicado, a la temperatura observada se le aplicó la ecuación 1, donde se corrigió la presión barométrica y se aplicó la corrección realizada por el termómetro. “Los valores de las temperaturas de inflamabilidad, normalmente están determinados a nivel del mar y la variación de la presión atmosférica tiene influencia sobre los mismos. Un aumento de presión eleva el punto de inflamación y una disminución de la presión lo reduce. Esta segunda situación es importante, ya que en zonas de mayor altitud, la concentración inflamable se alcanza con más facilidad” [20].

Con las medidas realizadas de cada patrón se calculó el promedio, la desviación estándar, el coeficiente de varianza (C.V) y el error porcentual, los datos de estos valores están representados en la tabla 11. Los cálculos para la obtención de estas cifras se encuentran en el anexo 8.

Tabla 11: Punto de inflamabilidad de los patrones utilizados en la curva de calibración del equipo.

Compuesto	Promedio PI (°C)	C.V %	Error Porcentual %	PI teórico(°C)
1-butanol	36 ±1	1,64	3,2	37
1-pentanol	50 ± 1	0,01	2,8	49
n-decano	51 ± 1	1,17	0,5	51
1-hexanol	60 ± 1	0,98	0,4	60
2-octanol	70 ± 1	1,46	1,8	71

1-nonanol	94 ± 1	1,08	0,9	95
1-decanol	94 ± 1	1,24	1,3	95
Alcohol bencílico	94 ± 1	1,08	1,2	93
n-hexadecano	135 ± 1	0,43	1	134

Al considerar la confiabilidad del método se toma en cuenta la precisión y la exactitud dentro de los parámetros establecidos como aceptables. Para la precisión, “el coeficiente de varianza debe ser igual o menor de 2%”^[45], en la tabla 11 se observa como este criterio se cumple para todos los valores de coeficiente de varianza, por lo tanto se tiene una alta precisión. Aunado a esto, la desviación estándar en la mayoría de los casos fue menor a 1, pero el instrumento posee una apreciación de 1°C, por lo que el error reportado no puede ser menor que la apreciación del instrumento y por lo tanto el error de las medidas es de 1°C en todos los casos.

En el caso de la exactitud del método, basta con comparar el valor reportado en la literatura (ver anexo 9) con el experimental el cual se encuentra con una exactitud bastante alta. Una forma de comparar si dos conjunto de medidas son diferentes o no es aplicando el test *t* de Student, donde existen tres casos pero para esta investigación evaluaremos el caso 1 donde se mide una cantidad varias veces y se obtiene un valor medio y una desviación estándar, se necesita comparar el resultado con un valor conocido y aceptado^[46], y para ello aplicamos la ecuación 2.

$$t \text{ calculada} = \frac{|x_{prom} - \text{valor conocido}|}{s} \cdot \sqrt{n} \quad (2)$$

Donde,

x_{prom} es el promedio de los PI experimentales

s es la desviación estándar.

n es el número de medidas.

Tabla 12: $t_{calculada}$ para cada compuesto.

Compuesto	$t_{calculada}$
1-butanol	2,508
1-pentanol	4,138
n-decano	0,671
1-hexanol	0,776
2-octanol	2,160
1-nonanol	1,138
1-decanol	1,751
Alcohol bencílico	1,929
n-hexadecano	4,287

$t_{tabulada}$ para $n=3$ es 4,303^[46]

Al comparar la $t_{calculada}$ dado por los valores obtenidos en la tabla 12 con la $t_{tabulada}$ para un intervalo de confianza de 95%, se tiene que si $t_{calculada}$ es mayor que $t_{tabulada}$ se considera que los resultados son diferentes^[46]. En consecuencia, al ser menor los resultados de $t_{calculada}$ reflejados en la tabla 12 son considerados iguales y por ende los valores obtenidos en la tabla 11 son exactos.

Una vez aceptados los valores de precisión y exactitud, se estableció la curva de calibración para el equipo mostrado en la figura 16.

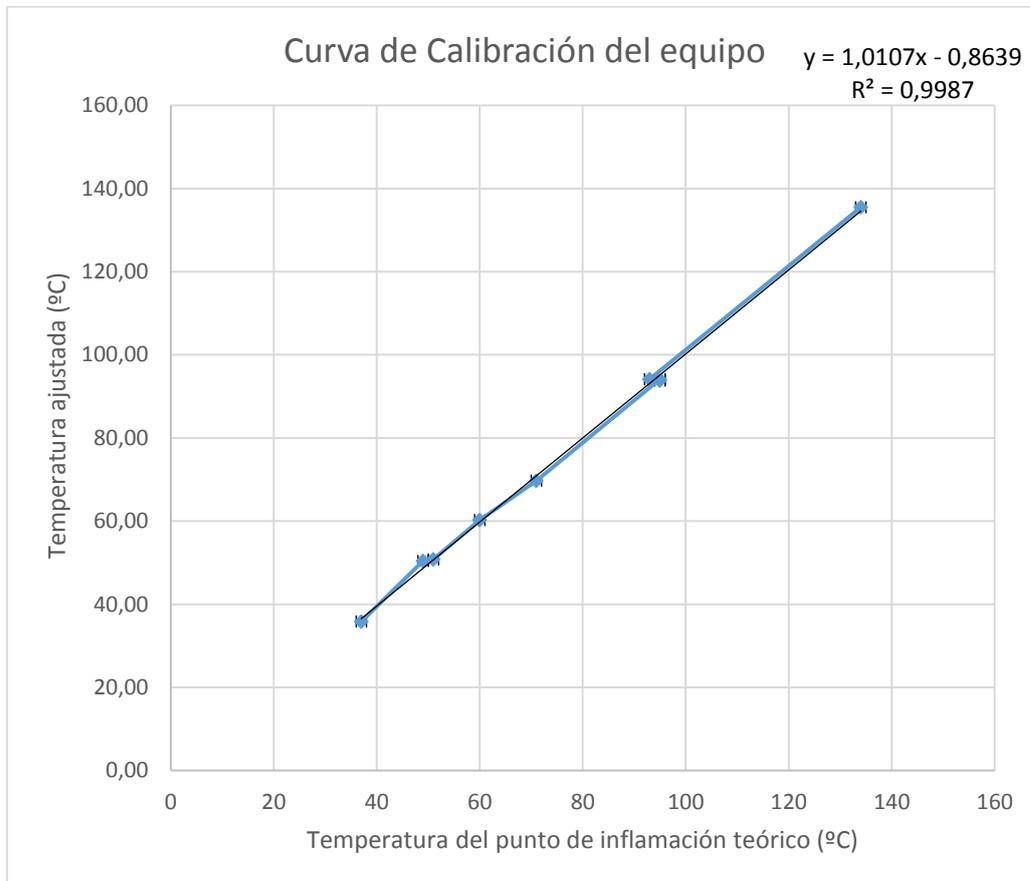


Figura 16: Curva de calibración del equipo.

La curva presenta un ajuste lineal cercano a 1, lo cual indica que casi el 100% de los datos se encuentra dentro de la ecuación de la recta y puede emplearse para determinar el punto de inflamabilidad. Los patrones utilizados abarcan una gama desde alcanos lineales, alcoholes primarios, secundarios y aromáticos, haciéndola ideal para determinar cualquier sustancia líquida con grupo funcional inflamable sin distinción.

A continuación se procedió a determinar el punto de inflamabilidad de una muestra pura desconocida por el operador, como lo indica la metodología experimental, donde se realizó un barrido activando la fuente de ignición cada 5°C para dar una idea preliminar del punto de inflamabilidad. Posteriormente, después de purgar la campana y el matraz de los vapores de la muestra, se procedió a realizar la medida por triplicado donde se activó la fuente de ignición cada un 1°C/min cercanos

al intervalo donde se obtuvo el PI preliminar y el resultado arroja un promedio de $(44 \pm 1)^\circ\text{C}$ como PI, lo cual fue confirmado por el tutor docente que conocía el origen de la muestra y su PI, lo que comprueba que el equipo funciona correctamente y elimina subjetividad por parte del operador que se pudiese originar al conocer el punto de inflamabilidad teórico.

- **Determinación del punto de inflamabilidad de desechos peligrosos**

Para la determinación del punto de inflamabilidad se seleccionaron 5 muestras problema o desechos, de las cuales 3 provinieron del laboratorio de síntesis organometálica y 2 provinieron del galpón donde se encuentran los desechos de la escuela de química. Tres de las muestras seleccionados indicaban la composición de los mismos como se observa en la tabla 13.

Tabla 13: Desechos seleccionados y lugar de procedencia

Desecho	Composición	Procedencia
Desecho 1	Etanol- Agua	Laboratorio Síntesis Organometálica
Desecho 2	Cloroformo-Agua-ácido acético	
Desecho 3	Acetona-ciclohexano-ciclohexeno-hexano-etanol	
Desecho 4	--	Galpón de desechos de la escuela de química
Desecho 5	--	

Se tomaron 3 mL del desecho 1 y se procedió a medir como lo indica el procedimiento experimental descrito en la sección 5.3. Para sustancias donde su punto de inflamabilidad es desconocido, como lo es el caso del desecho 1, que contiene una mezcla de etanol-agua en su mayoría (al ser un desecho, no se sabe si está muestra está compuesta de alguna otra sustancia en menor proporción), se hace un barrido cada 5°C comenzando por la temperatura ambiente. En este caso el desecho fue inflamable a temperatura ambiente (24°C), la medida fue realizada por

triplicado obteniéndose el mismo resultado. Se procedió entonces a realizar las medidas de forma indirecta y obtener el PI por extrapolación. Como ya es conocido, según la investigación realizada por Murav'eva *et al.* 1984 ^[9], se puede determinar el punto de inflamabilidad de soluciones acuosas a diferentes composiciones, pero en este caso se llevó a cabo para la primera muestra problema variando la composición como se observa en la tabla 14 y obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 14: Punto de inflamabilidad del Desecho 1 - Agua a diferentes composiciones.

PI corregido (°C)	% Desecho 1
31 ± 1	50
33 ± 1	43,33
36 ± 1	33,33
40 ± 1	23,33
43 ± 1	16,67
44 ± 1	13,33

Al hacer la representación de los datos obtenidos en la figura 17, se observa una tendencia lineal. A medida que se disminuye la composición de la muestra y aumenta la del agua el PI cambia. Esto se debe a que el agua no es inflamable y al aumentar su proporción, aumenta la temperatura de inflamabilidad de la mezcla en comparación a la muestra problema original.

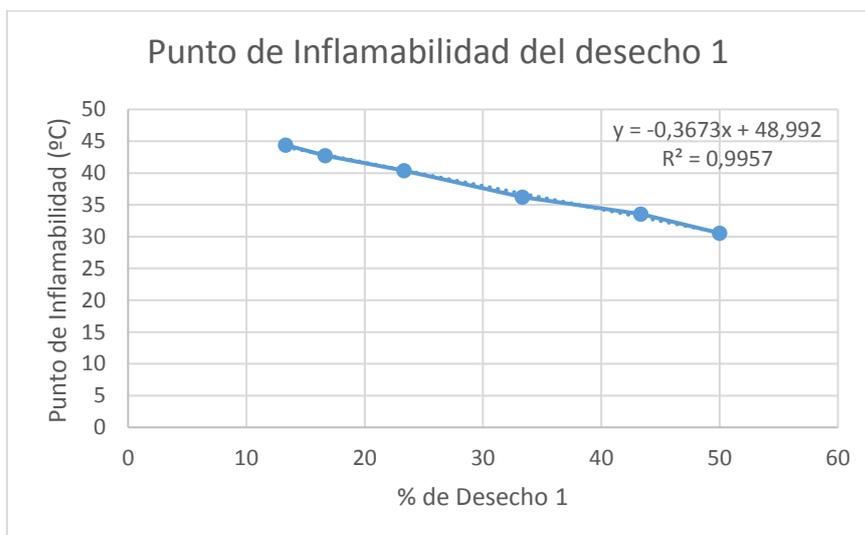


Figura 17: Punto de Inflamabilidad del desecho 1 a diferentes composiciones.

Al realizar la extrapolación sobre la muestra 1 se obtuvo que tiene un punto de inflamabilidad de $(12 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Para la muestra 2 se realizó lo descrito en la parte experimental, pero mientras se hizo el barrido y la temperatura alcanzaba unos 100°C la mezcla comenzó a ebullición, lo cual probablemente se debió a que se alcanzó el punto de ebullición del agua y que el cloroformo se evaporó (Punto de ebullición del cloroformo 62°C), por lo cual no se pudo determinar el punto de inflamabilidad del desecho 2. Se observó que el material del cable se deformó mientras se realizaba el barrido.

Para evaluar como la composición del material de desecho identificado con el número 2 estaba afectando al equipo se procedió a tomar un trozo del revestimiento del cable y se sumergió en cloroformo y otro en ácido acético. El trozo sumergido en cloroformo se deformó, aumentó su tamaño y adquirió una consistencia esponjosa. El trozo sumergido en ácido acético no presentó cambios aparentes. Por lo tanto, se determinó que la composición del desecho 2 causó daño al revestimiento del cable que forma parte de la fuente del equipo el cual debió ser reemplazado.

Para la muestra 3 se llevó a cabo el procedimiento descrito en la parte experimental y mientras se realizaba el barrido y se alcanzaron unos 60°C la muestra del desecho se evaporó casi en su totalidad haciendo imposible su medición. A pesar que contaran con puntos de ebullición de 56°C , 68°C , 78°C , 81°C y 83°C para acetona, hexano, etanol, ciclohexano y ciclohexeno respectivamente. Los PI reportados para cada sustancia fueron -18°C , -22°C , 13°C , -18°C y -6°C respectivamente, por lo tanto fue fácil pensar que al encender la fuente de ignición a temperatura ambiente esta resultaría inflamable. En este caso, una mezcla de sustancias tan inflamables sobrepasó el límite superior de inflamabilidad al haberse hallados confinados al espacio del matraz de tres bocas, es decir, al haber tenido un exceso de combustible la mezcla no produjo la inflamabilidad. Al aumentar la temperatura el exceso de combustible desplazó el oxígeno del aire y la mezcla tendió a evaporarse casi por completo. Al no haber tenido más muestra para producir la mezcla inflamable se detuvo la medición, por consiguiente no fue posible establecer el punto de inflamabilidad bajo estas condiciones.

Para la muestra 4 que fue seleccionada del galpón de desechos de la escuela de química, la etiqueta del frasco se encontraba dañada y en malas condiciones, y al no estar identificada correctamente este reactivo fue clasificado como desecho. La figura 18 muestra las condiciones de este desecho. Sin embargo, se llevó a cabo el procedimiento experimental descrito en la sección 5.3 donde se obtuvo un PI de $(120 \pm 1)^\circ\text{C}$.

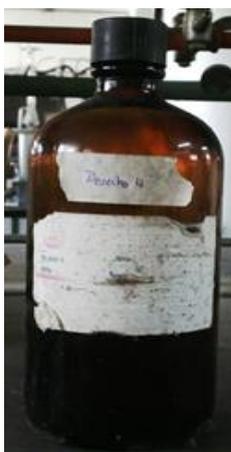


Figura 18: Desecho 4

La muestra 5 presentaba la misma situación que la muestra 4, la etiqueta no permitía identificar claramente el reactivo y esta fue considerada un desecho (Figura 19). Igualmente, se llevó a cabo el procedimiento experimental descrito en la sección 5.3 donde se obtuvo un PI de $(89 \pm 1)^\circ\text{C}$.



Figura 19: Desecho 5

Finalmente, en la tabla 15 se muestra en resumen de los PI para cada desecho, para lo cual se logró determinar correctamente 3 de 5 desechos. Dos de manera directa y uno por extrapolación.

Tabla 15: Punto de Inflamabilidad de cada desecho

Desecho	Composición	PI (°C)
Desecho 1	Etanol- Agua	12 ± 1
Desecho 2	Cloroformo-Agua-ácido acético	--
Desecho 3	Acetona-ciclohexano-ciclohexeno-hexano-etanol	--
Desecho 4	--	120± 1
Desecho 5	--	89± 1

El método desarrollado tomó como referencia la copa cerrada Pensky-Martens y logró determinar de manera precisa y exacta el punto de inflamabilidad de los desechos seleccionados, así como las muestras patrón utilizadas para la calibración del equipo, a través de un sistema parcialmente cerrado, que entre otras cosas evito la dispersión de los vapores al estar confinados en un matraz y simulo condiciones de almacenaje. La alta exactitud y precisión se debió a que se incrementó el voltaje para la formación del arco eléctrico utilizado como fuente de ignición. Se logró la caracterización de los desechos empleados, a través de la identificación de una de las propiedades de peligrosidad establecidas en la normativa técnica venezolana, el punto de inflamabilidad, en consecuencia se estableció uno de los primeros pasos para el manejo integral de residuos y desechos peligrosos.

CONCLUSIONES

- El método se desarrolló bajo las condiciones evaluadas tomando como referencia el método copa cerrada Pensky-Martens.
- El desarrollo de las variables permitió diseñar el equipo y optimizarlo para la determinación del punto de inflamabilidad de líquidos.
- El método desarrollado se aplicó para líquidos con un punto de inflamabilidad entre 36°C a 135°C de manera satisfactoria.
- El método desarrollado se aplicó para líquidos con una viscosidad baja, entre 2,09cSt a 16,99cSt, de manera satisfactoria.
- La optimización del método permitió fijar variables del método como volumen de la muestra, altura de la fuente de ignición, contenedor de la muestra y potencia de la fuente de ignición.
- La cantidad mínima de muestra que se debe emplear bajo este método es de 3mL.
- La fuente de ignición proporcionada por la formación de arco eléctrico requiere de alto voltaje para la alcanzar el punto de inflamabilidad de los líquidos medidos.
- El coeficiente de varianza fue menor del 2% lo que implica una alta precisión. Además, se obtuvo valores exactos según el test *t* de Student.
- La curva de calibración del equipo presenta ajuste lineal cercano a 1, lo que indica que casi el 100% de los datos se encuentra dentro de la ecuación de la recta y puede emplearse para determinar el punto de inflamabilidad.

- Se determinó el punto de inflamabilidad de diferentes desechos obteniéndose valores de $(12 \pm 1)^{\circ}\text{C}$, $(120 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ y $(89 \pm 1)^{\circ}\text{C}$.

RECOMENDACIONES

- Adaptar al equipo un sistema de extinción preferiblemente un gas inerte.
- En el circuito de la fuente de ignición colocar un terminal adecuado en el electrodo negativo que permita una mejor generación del arco eléctrico
- Adaptar el equipo para la determinación de puntos de inflamabilidad menos a la temperatura ambiente.
- Comprobar y/o adaptar el equipo para la determinación de puntos de inflamabilidad por encima de 135°C.
- Adaptar el equipo para líquidos mayor viscosidad.
- Unificar este y otros trabajos para crear un sistema de caracterización de desechos y residuos peligrosos.

ABREVIATURAS

ASTM, de sus siglas en inglés, American Society for Testing and Materials, es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de normas más grandes del mundo. En ASTM se reúnen productores, usuarios y consumidores, entre otros, de todo el mundo, para crear normas de consenso voluntarias.

COV, Compuestos orgánicos volátiles.

COVENIN, corresponde al acrónimo de la Comisión Venezolana de Normas Industriales, hasta 2004 fue ente encargado de velar por la estandarización y normalización bajo lineamientos de calidad en Venezuela. A partir del año 2004, las actividades desarrolladas por COVENIN pasan a ser ejecutadas por FONDONORMA

EPA, de sus siglas en inglés, Environmental Protection Agency. La Agencia de Protección del Medio Ambiente es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente: aire, agua y suelo.

ISO, International Organization for Standardization, conocida por las siglas ISO, La Organización Internacional de Normalización es una organización para la creación de estándares internacionales compuesta por diversas organizaciones nacionales de estandarización.

LII, Límite inferior de inflamabilidad.

LSI, Límite superior de inflamabilidad.

NFPA, de sus siglas en inglés, National Fire Protection Association, es una organización encargada de crear y mantener las normas y requisitos mínimos para la prevención contra incendio, capacitación, instalación y uso de medios de protección

contra incendio, utilizados tanto por bomberos, como por el personal encargado de la seguridad. Sus estándares conocidos como National Fire Codes recomiendan las prácticas seguras desarrolladas por personal experto en el control de incendios.

ONU, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), es la mayor organización internacional existente. Se define como una asociación de gobierno global que facilita la cooperación en asuntos como el Derecho internacional, la paz y seguridad internacional, el desarrollo económico y social, los asuntos humanitarios y los derechos humanos.

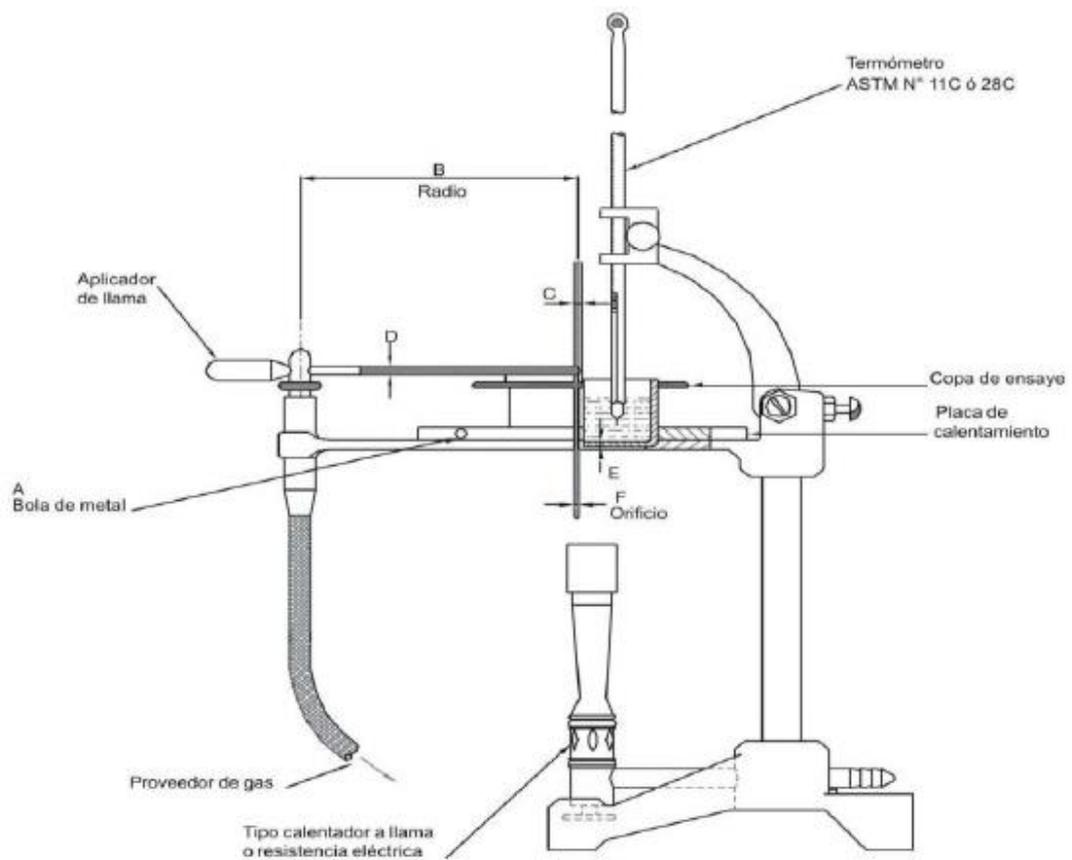
PI, punto de inflamabilidad es la temperatura más baja a la cual se inflama una mezcla de vapor formada con el aire, donde dicho vapor es emitido de la sustancia líquida, a presión atmosférica estándar, en presencia de una fuente de ignición.

OSHA, por sus siglas en inglés, Occupational Safety and Health Administration. La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional, es una agencia del departamento de trabajo de Estados Unidos de América.

RAE, Real Academia Española, se dedica a la regularización lingüística mediante la promulgación de normativas dirigidas a fomentar la unidad idiomática entre o dentro de los diversos territorios que componen el llamado mundo hispanohablante.

TAG, la voz TAG es una simple abreviatura del nombre Tagliabue.

ANEXOS

Anexo 1: Método copa abierta de Cleveland contemplada en la norma COVENIN 3361:1998**Figura 20:** Copa abierta de Cleveland ^[38]

Anexo 2: Método copa cerrada Pensky-Martens contemplada en la norma COVENIN 425:2001

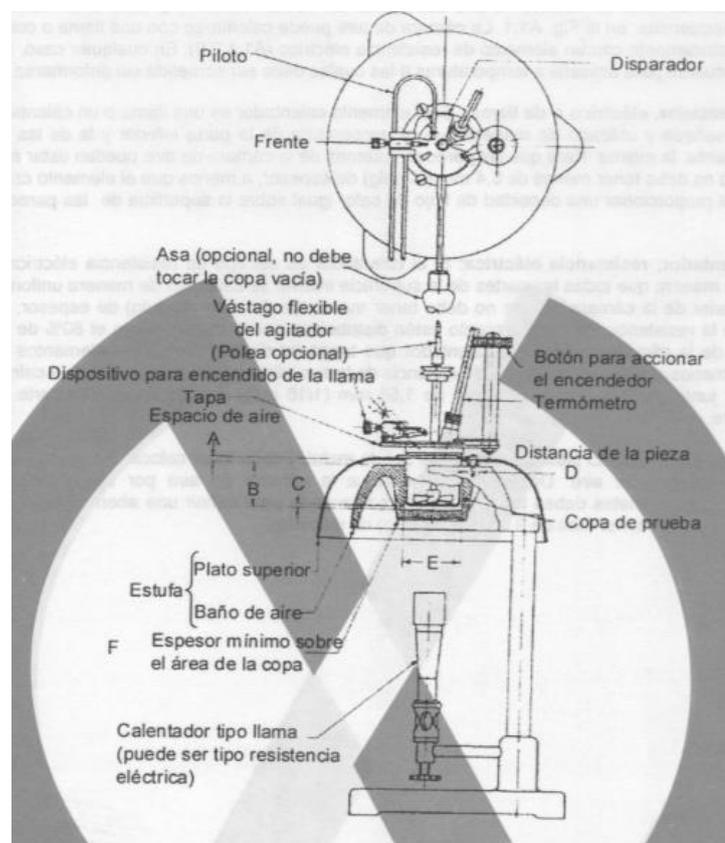
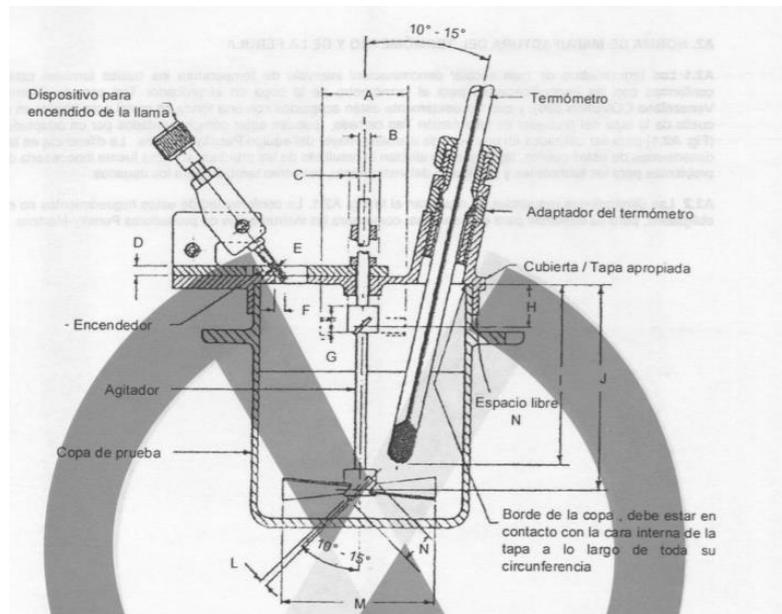
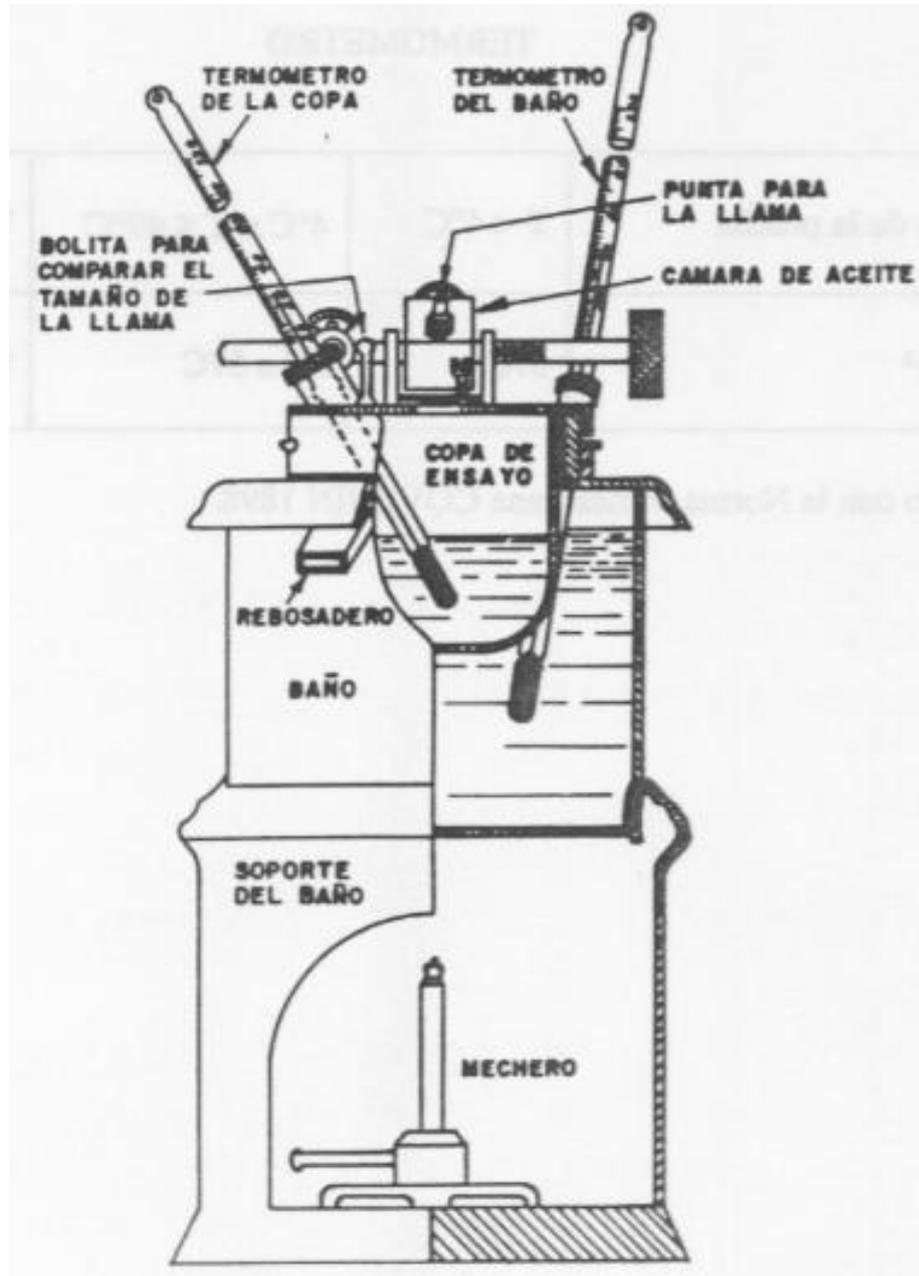


Figura 21: Copa cerrada Pensky- Martens [27]

Anexo 3: Método copa cerrada TAG contemplada en la norma COVENIN 896-93**Figura 22: Copa cerrada TAG** ^[40]

Anexo 4: Método copa cerrada Setaflash contemplada en la norma COVENIN 2765-93

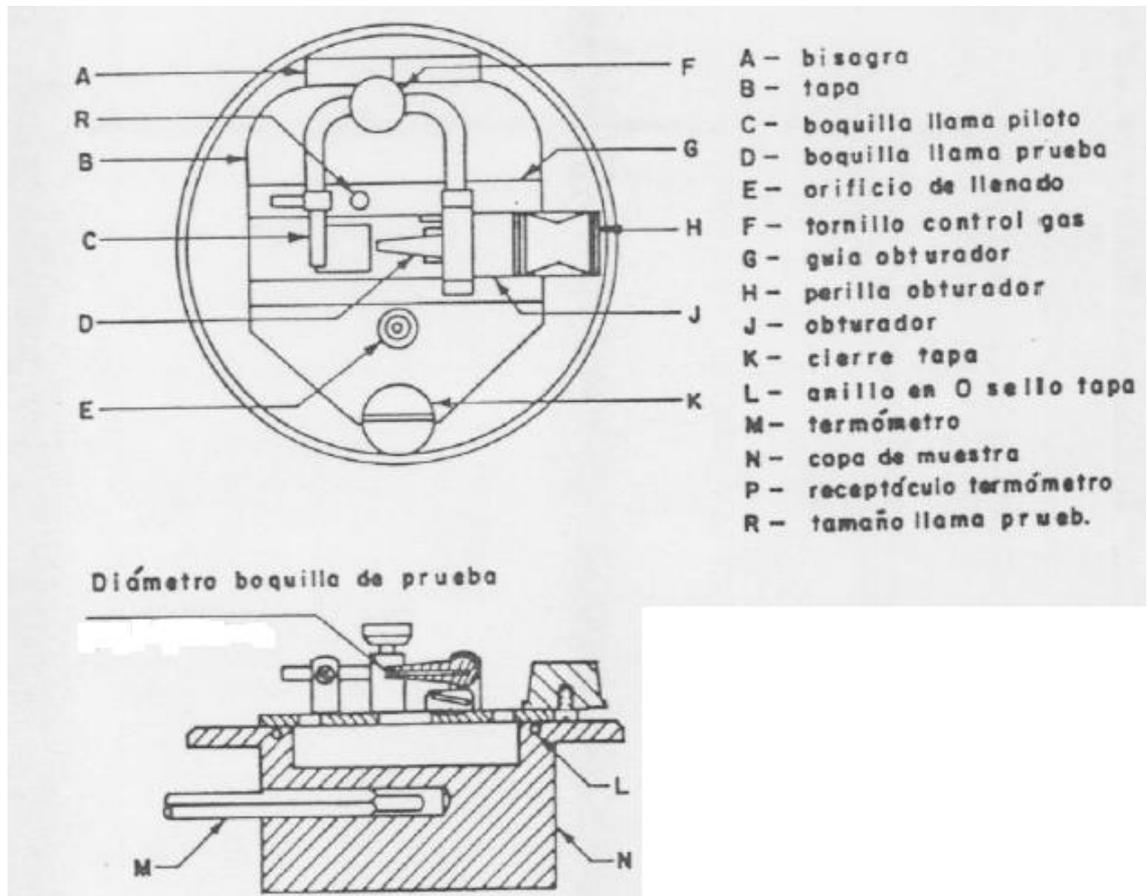


Figura 23: Copa cerrada Setaflash ^[41]

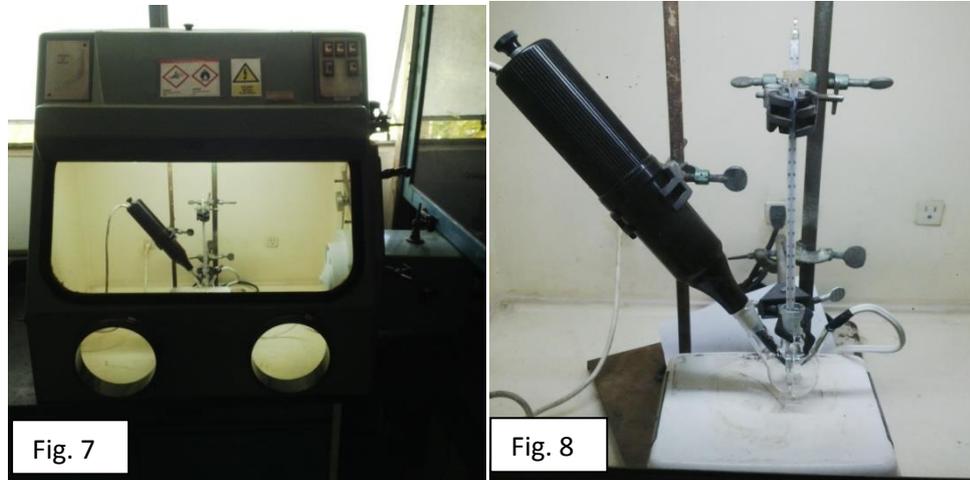
Anexo 5: Montaje del Equipo y desarrollo durante su diseño**Figura 7 y 8:** Equipo ensamblado bajo el método desarrollado**Figura 9:** Barómetro



Figura 24: Campana de presurización en desuso



Figura 25: Campana de presurización recuperada



Figura 26: Ubicación del extractor a un costado de la campana de presurización

Anexo 6: Pictogramas de peligro según el sistema globalmente armonizado (GHS por sus siglas en inglés ó SGA por sus siglas en español) por las Naciones Unidas.



Figura 27: Pictograma de peligro para sustancias explosivas



Figura 28: Pictograma de peligro para sustancias inflamable



Figura 29: Señalización por riesgo eléctrico

Anexo 7: Ubicación de las señalizaciones



Figura 30: Lavaojos de emergencia



Figura 31: Ducha de emergencia

Anexo 8: Cálculos para la calibración del equipo

Calibración del Termómetro						
Compuestos	T1(°C)	T2(°C)	T3(°C)	Promedio (°C)	Desv Estandar	Tteórica(°C)
Hielo	3	2	1	2	1	0
1,4-dibromobenceno	87	86	86	86,33	0,577350269	87
Urea	132	132	132	132	0	132
ácido 3,5-dinitrobenzoico	202	203	205	203,33	1,527525232	205

Corrección a la presión barométrica de los patrones														
Compuestos	T1(°C)	T2(°C)	T3(°C)	Tcorr Term	Tcorr Term	Tcorr Term	Presión1 mmHg	Presión2 mmHg	Presión3 mmHg	Tcorre P1 °C	Tcorre P2 °C	Tcorre P3 °C		
n-butanol	37	36	37	35,93	34,91	35,93	681,5	681,5	681,5	36,1891	35,1691	36,1891		
n-pentanol	51	51	51	50,16	50,16	50,16	685	685	683	50,4075	50,4075	50,4141		
n-decano	52	51	51	51,18	50,16	50,16	677	677	680	51,4539	50,4339	50,4240		
1-hexanol	61	61	60	60,33	60,33	59,31	677	677	677	60,6039	60,6039	59,5839		
2-octanol	71	69	70	70,5	68,46	69,48	685	685	685	70,7475	68,7075	69,7275		
1-nonanol	94	95	93	93,88	94,9	92,87	683	685	685	94,1341	95,1475	93,1175		
1-decanol	95	93	93	94,9	92,87	92,87	679	676	676	95,1673	93,1472	93,1472		
alcohol bencilico	95	93	94	94,9	92,87	93,88	685	685	685	95,1475	93,1175	94,1275		
n-Hexadecano	134	135	135	134,56	135,57	135,57	690	683	683	134,7910	135,8241	135,8241		

Donde:

T1, T2 y T3 son las temperaturas observadas 1, 2 y 3 respectivamente.

Tcorr Term es la temperatura corregida por la curva de calibración del termómetro en el gráfico 2.

Tcorr P es la temperatura corregida o punto de inflamabilidad corregido a la presión en el momento de la medición mediante la ecuación 1.

$$PI = C + 0,033^{\circ}C/mmHg(760 - P)mmHg \quad (1)$$

Calibración del Equipo							
Compuestos	Tcorre P1 °C	Tcorre P2 °C	Tcorre P3 °C	Promedio (°C)	Desv Estandar	C.V	T teórica(°C)
n-butanol	36,1891	35,1691	36,1891	35,85	0,59	1,64	37
n-pentanol	50,4075	50,4075	50,4141	50,41	0,00	0,01	49
n-decano	51,4539	50,4339	50,4240	50,77	0,59	1,17	51
1-hexanol	60,6039	60,6039	59,5839	60,26	0,59	0,98	60
2-octanol	70,7475	68,7075	69,7275	69,73	1,02	1,46	71
1-nonanol	94,1341	95,1475	93,1175	94,13	1,02	1,08	95
1-decanol	95,1673	93,1472	93,1472	93,82	1,17	1,24	95
alcohol bencilico	95,1475	93,1175	94,1275	94,13	1,02	1,08	93
n-Hexadecano	134,7910	135,8241	135,8241	135,48	0,60	0,44	134

C.V es el coeficiente de varianza

Tteórica es el punto de inflamabilidad reportado (Ver anexo 9).

Cálculos para el Desecho 1

Punto de inflamación del Desecho 1 a varias concentraciones								
T1(°C)	T2(°C)	T3(°C)	Promedio (°C)	Des. Estandar	Tcorr Equipo	Presión mmHg	Tcorr Presión (°C)	% Desecho 1
28	27	28	27,67	0,58	28,07	685	30,545	50
30	31	31	30,67	0,58	31,08	685	33,555	43,33
33	34	33	33,33	0,58	33,74	685	36,215	33,33
37	37	38	37,33	0,58	37,75	680	40,39	23,33
40	40	39	39,67	0,58	40,09	680	42,73	16,67
42	41	41	41,33	0,58	41,76	680	44,4	13,33

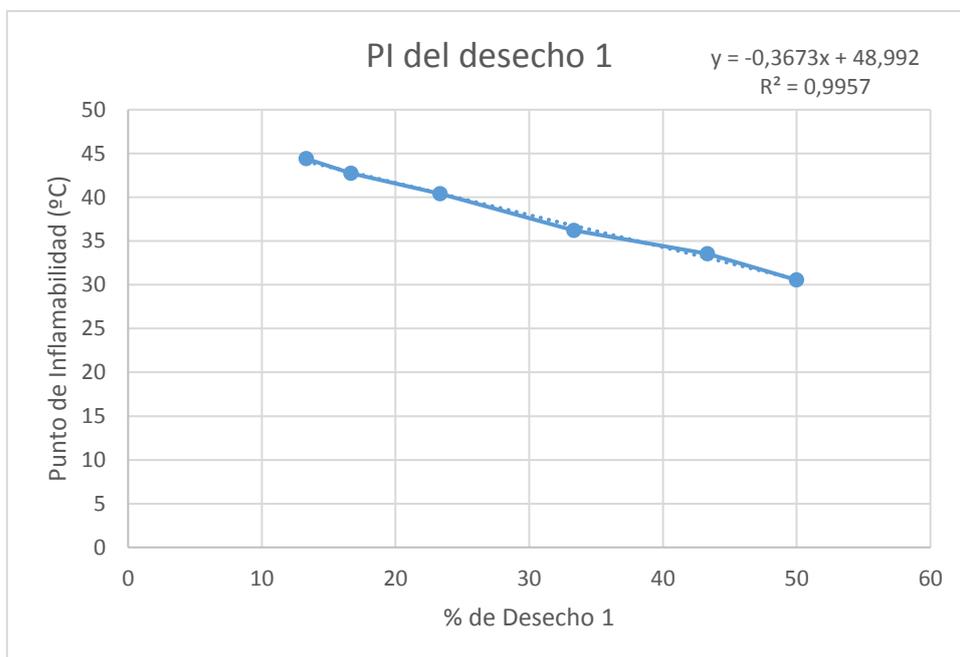


Figura 17: Punto de Inflamabilidad del desecho 1 a diferentes composiciones

Al realizar la extrapolación del desecho 1 se obtuvo que tiene un punto de inflamabilidad de $(12 \pm 1)^\circ\text{C}$

Cálculos para el desecho 4 y 5

Punto de inflamabilidad del desecho 4 y 5								
Compuesto	T1(°C)	T2(°C)	T3(°C)	Promedio (°C)	Des. Estandar	Tcorr Equipo (°C)	Presión mmHg	Tcorr Presión (°C)
Desecho 4	117	118	118	117,67	0,58	117,36	679	120,033
Desecho 5	87	87	86	86,67	0,58	86,67	677	89,409

Anexo 9: Punto de inflamabilidad reportado

A continuación, se seleccionaron extractos de hojas de seguridad que indican el punto de inflamación de los compuestos utilizados para la calibración del equipo sustentando por al menos tres fuentes distintas. La hoja de seguridad completa se puede encontrar en el enlace indicado en las referencias bibliográficas.

1-Butanol^[47]



SECCION 5: MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

Fuego

Punto de inflamación: 37 °C (99°F) CC

Temperatura de autoignición: 343°C (649°F)

Límites inflamables en el aire% por volumen: LEL: 1,4; UEL: 11,2

Inflamable. PELIGRO DE INCENDIO cuando se expone al calor o las llamas.

1-butanol^[48]

PRODUCTO: n - BUTANOL

NOMBRE QUIMICO	NOMBRE COMERCIAL
1- BUTANOL	n- BUTANOL
FAMILIA QUIMICA	FORMULA
Alcohol alifático	CH ₃ (CH ₂) ₂ CH ₂ OH

SECCION 1.- INFORMACION FISICA Y QUIMICA

DESCRIPCION DEL PRODUCTO	LÍQUIDO TRANSPARENTE INCOLORO
GRAVEDAD ESPECIFICA 20°C	0.81
PRESION DE VAPOR, mbar a 20°C	6.7
SOLUBILIDAD EN AGUA, % PESO a 20°C	7.7
VISCOSIDAD DEL LÍQUIDO, cSt a 20°C	3.7
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL VAPOR, a 1 atm (AIRE= 1)	2.6
PUNTO DE CONGELACION/FUSION, °C	-90
INDICE DE EVAPORACION (Butyl Acetato = 1)	0.46
PUNTO DE EBULLICION, °C	117.5
PUNTO DE INFLAMACION °C Método : TCC	37
LIMITES DE INFLAMABILIDAD	1.4 % - 11.2 %
TEMPERATURA DE AUTOIGNICION °C	343

A su vez este compuesto aparece en la calibración del método de copa cerrada Setaflash con un valor de PI (36,7 ± 0,8)°C [49].

1-pentanol [50]

9 Propiedades físicas y químicas	
<i>Información sobre propiedades físicas y químicas básicas</i>	
<i>Datos generales</i>	
Aspecto:	Líquidez
Forma:	Suave
Olor:	No determinado.
Umbral olfativo:	No determinado.
valor pH:	No determinado.
<i>Modificación de estado</i>	
Punto de fusión /campo de fusión:	-79 °C
Punto de ebullición /campo de ebullición:	136-138 °C
Temperatura de sublimación/ inicio de la sublimación:	Sin determinar
<i>Punto de inflamación:</i>	
Inflamabilidad (sólido, gaseiforme):	49 °C
Temperatura fulminante:	No determinado.
Temperatura de descomposición:	310 °C
Autoinflamabilidad:	Sin determinar
	No determinado.
<i>Peligro de explosión:</i>	
Limites de explosión:	El producto no es explosivo; sin embargo, pueden formarse mezclas explosivas de vapor / aire.
Inferior:	1,2 Vol %
Superior:	10,5 Vol %
Presión de vapor a 20 °C:	1,3 hPa
Densidad a 20 °C:	0,812 g/cm ³
Densidad relativa	No determinado.
Densidad de vapor	No determinado.
Velocidad de evaporación	No determinado.
Solubilidad en / mezclabilidad con	
Agua a 20 °C:	27 g/l
Coefficiente de distribución (n-Octano/agua):	No determinado.
Viscosidad	
Dinámica:	No determinado.
Cinemática:	No determinado.
Información adicional	No existen más datos relevantes disponibles.

1-pentanol [51]

SECCION 9. Propiedades físicas y químicas

9.1. Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Forma	:	líquido
Color	:	incolore
Olor	:	característico
peso molecular	:	88,15 g/mol
Punto de inflamación	:	49 °C
Inflamabilidad (sólido, gas)	:	sin datos disponibles
Temperatura de auto-inflamación	:	300 °C a 1.004 - 1.008 hPa
Propiedades comburentes	:	La sustancia o mezcla no se clasifica como oxidante.
Limites inferior de explosividad	:	1,2 %(v)
Límite superior de explosividad	:	10 %(v)
Presión de vapor	:	2,0 hPa

n-pentanol ^[52]

ESPECIFICACIONES

ASPECTO A 20°C	LIQUIDO FLUIDO TRANSPARENTE
COLOR	INCOLORO
OLOR	ASPERO, QUIMICO
ROTACIÓN OPTICA (°)	0 / 0
DENSIDAD A 20°C (g/ml)	0,813 - 0,817
INDICE DE REFRACCIÓN nD20	1,4050 - 1,4120
PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	49
SOLUBILIDAD	EN AGUA: 22g/l
RIQUEZA (% GC)	> 99

n-decano ^[53]

SECCION IV Propiedades físicas y químicas	
Temperatura de ebullición (°C)	174
Temperatura de fusión (°C)	-30
Temperatura de inflamación (°C) (Flash Point)	51
Temperatura de autoignición (°C)	208

n-decano ^[54]

Información fisicoquímica	
Punto de ebullición	174 °C (1013 mbar)
Densidad	0.73 g/cm ³ (20 °C)
Límite de explosión	0.7 - 5.4 %(V)
Punto de inflamabilidad	51 °C
Temperatura de ignición	208 °C
Punto de fusión	-30 °C
Presión de vapor	1 hPa (16 °C)
Viscosidad cinemática	<7 mm ² /s (40 °C)

n-decano ^[55]**9.- Propiedades Físicas y Químicas (Típicas)**

Estado físico	Líquido.
Color	Incoloro, claro y brillante.
Olor	Característico.
Punto de ebullición	170 - 174 °C (ASTM D-86-82)
Punto de inflamación	50 °C (ASTM D-93-85)
Punto de fusión	< -25 °C (ASTM D-97-87)
Temperatura de autoignición	208 °C (ASTM D-2155-66)

1-hexanol ^[56]**SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas****9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas**

Forma	líquido
Color	incoloro
Olor	característico
Umbral olfativo	No hay información disponible.
pH	No hay información disponible.
Punto de fusión	-45 °C Método: ASTM D 97-66
Punto /intervalo de ebullición	155 °C a 1.015 hPa Método: ASTM D 1120-72
Punto de inflamación	60 °C a 1.015 hPa Método: ASTM D 93

1-hexanol^[57]

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto

Estado físico	líquido (fluido)
Color	incolor
Olor	característico
Umbral olfativo	No existen datos disponibles

Otros parámetros físicos y químicos

pH (valor)	Esta información no está disponible.
Punto de fusión/punto de congelación	-45 °C
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	155 - 158 °C
Punto de inflamación	60 °C
Tasa de evaporación	no existen datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	no relevantes (fluido)
<u>Límites de explosividad</u>	
• límite inferior de explosividad (LIE)	1,2 % vol
• límite superior de explosividad (LSE)	7,7 % vol

1-hexanol^[58]

Physical Properties

Physical state at 20 °C	Liquid	Colour	Clear Colorless
Melting point/ Freezing point [°C]	-52 °C	Auto-ignition temperature [°C]	293 °C
Flash point [°C]	59 °C	Boiling point [°C]	156 - 157 °C
Final boiling point [°C]	157 °C	Evaporation rate	0.05

2-octanol [59]

FLINN SCIENTIFIC, INC.
Material Safety Data Sheet 2-Octanol

MSDS #: 560.00
Revision Date: August 29, 2011

SECTION 9 — PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Colorless, viscous liquid; aromatic, yet somewhat unpleasant odor.
 Solubility: Slightly in water. Miscible with alcohol and ether.
 Formula: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$
 Formula weight: 130.23

Boiling point: 174-181 °C
 Flash point: 71 °C
 Melting point: -38.6 °C
 Specific gravity: 0.81
 Vapor density: Heavier than air

2-octanol [60]**Section 5: Fire and Explosion Data**

Flammability of the Product: Combustible.
Auto-Ignition Temperature: 390°C (734°F)
Flash Points: CLOSED CUP: 71.111°C (160°F).
Flammable Limits: LOWER: 0.8% UPPER: 7.4%

1-nonanol [61]

Property	Average	
	Experimental	Predicted
LogP: Octanol-Water	3.77 (1)	3.69 (5)
Water Solubility	9.71e-04 (1)	1.36e-03 (4)
Density	-	8.38e-01 (2)
Flash Point	-	94.8 (2)
Melting Point	-6.22 (9)	-4.47 (4)
Boiling Point	214 (6)	212 (5)

1-decanol ^[62]**9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas**

Forma	líquido
Color	incolore
Olor	aromático
Umbral olfativo	No hay información disponible.
pH	No hay información disponible.
Temperature de escurrimiento	6 °C a 1.013 hPa
Punto /intervalo de ebullición	220 - 235 °C a 1.013 hPa Método: Directrices de ensayo 103 del OECD
Punto de inflamación	aprox. 95 °C a aprox.1.013 hPa

1-decanol ^[63]**SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas****9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas****Aspecto**

Estado físico	líquido (fluido)
Color	incolore
Olor	esta información no está disponible
Umbral olfativo	No existen datos disponibles

Otros parámetros físicos y químicos

pH (valor)	Esta información no está disponible.
Punto de fusión/punto de congelación	5 - 7 °C
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	220 - 235 °C a 1.013 hPa
Punto de inflamación	95 °C (DIN 51758)
Tasa de evaporación	no existen datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	no relevantes (fluido)

1-decanol ^[64]**9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES****Appearance:** Clear to Amber liquid.**Odour:** Sweet fatty alcohol odour.**Density:** 0.87 g/m³ at 20 °C.**Storage stability:** Considered stable for a period of 2 years in normal air, warehouse and light conditions.**Solubility in water:** Decanol is insoluble in water. Emulsifies in water.**Flashpoint:** > 94 °C.**Vapour density:** 4.5.**pH:** Neutral.**Melting Point:** 7 °C.**Boiling point:** > 226.66 °C.**Alcohol bencílico** ^[65]

SECCION IV		Propiedades físicas y químicas	
Temperatura de ebullición (°C)		205	
Temperatura de fusión (°C)		- 15	
Temperatura de inflamación (°C) (Flash Point)		93	
Temperatura de autoignición (°C)		436	
Densidad relativa (agua = 1)		1.05	
Peso molecular		108.14	
Estado físico		Líquido	
Color		Incoloro	
Olor		Ligero olor aromático	

Alcohol Bencílico ^[66]

PROPIEDADES FÍSICAS	Punto de ebullición: 205°C	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): Alrededor de 1
	Punto de fusión: -15°C	Punto de inflamación: 93°C (c.c.)
	Densidad relativa (agua = 1): 1.04	Temperatura de autoignición: 436°C
	Solubilidad en agua, g/100 ml a 25°C: 3.5	Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1.3-13
	Presión de vapor, Pa a 25°C: 20	Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1.1
	Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.7	

Alcohol bencílico ^[67]**6. Riesgos de incendio y explosión****Incendio:** Combustible.**Explosión:** Por encima de 93°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.**Puntos de inflamación:** 93°C (c.c.)**Temperatura de autoignición:** 436°Cn-hexadecano ^[68]

Artículo número	109605
Nombre del producto	n-Hexadecano sustancia de referencia
Umbral olfativo	No hay información disponible.
pH	No hay información disponible.
Punto de fusión	18 °C
Punto de ebullición	No hay información disponible.
Punto de inflamación	135 °C

n-hexadecano ^[69]

9 Propiedades físicas y químicas	
Información sobre propiedades físicas y químicas básicas	
Datos generales	
Aspecto:	
Forma:	Liquidez
Olor:	Indeterminado
Umbral olfativo:	No determinado.
valor pH:	No determinado.
Modificación de estado	
Punto de fusión/punto de congelación:	18 °C
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición:	287 °C
Temperatura de sublimación/ inicio de la sublimación:	Sin determinar
Punto de inflamación:	135 °C
Inflamabilidad (sólido, gaseiforme):	No determinado.
Temperatura fulminante:	201 °C
Temperatura de descomposición:	Sin determinar
Temperatura de auto-inflamación:	No determinado.

n-hexadecano ^[70]**9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES****Appearance**

Form	liquid
Colour	colourless

Safety data

pH	no data available
Melting	Melting point/range: 18 °C (64 °F) - li

Sigma-Aldrich - H6703

point/freezing point

Boiling point	287 °C (549 °F) - lit.
Flash point	135 °C (275 °F) - closed cup

El valor reportado por el Instituto Ecuatoriano de normalización, basándose en la norma ASTM D 93 establece que su punto de inflamación es $(133,9 \pm 5,9) \text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[71].

Anexo 10: Protocolo para la determinación del punto de inflamabilidad con el nuevo método desarrollado.

Con el fin de que profesores y estudiantes tengan conocimiento del método desarrollado y la operatividad del equipo, se elaboró este protocolo, el cual permitirá que la información esté al alcance para el desarrollo de nuevas investigaciones, desarrollará al operador de una forma sencilla y minimizará errores. A su vez, crea la base para mantener la forma de trabajar o en todo caso mejorarla.

I. Ámbito y aplicación

El método desarrollado se utiliza para determinar el punto de inflamabilidad de líquidos puros, mezclas líquidas, desechos y residuos líquidos dentro de un rango de 36°C a 135°C. Fuera de este rango no ha sido probado aún.

II. Resumen del método desarrollado

La muestra se debe calentar a una velocidad constante y lentamente, con agitación continua. Encender el interruptor dispuesto en la campana de presurización que forma un arco eléctrico, durante intervalos regulares e interrumpiendo simultáneamente la agitación. El punto de inflamabilidad corresponderá a la temperatura más baja a la que, la formación del arco eléctrico, enciende los vapores sobre la muestra.

III. El equipo consta de:

- Un matraz de tres bocas de 25mL
- Una bobina de Tesla con punta
- Un cable conectado a tierra
- Un termómetro de mercurio
- Una plancha de calentamiento
- Un agitador magnético

- Material de soporte del equipo (Dos (2) Soportes universales, dos (2) pinzas, dos (2) nueces, un (1) corcho).
- Un barómetro

El equipo esta ensamblado dentro de una campana de presurización, el cual consta de un sistema de ventilación que envía los vapores emanados a una campana de extracción.

IV. Medidas de seguridad

- El equipo consta de pictogramas de peligro que indica los riesgos que corre el operario.
- El equipo consta de un sistema de ventilación conectado a una campana de extracción que solo debe ser encendido una vez finalizada la medida. Por cada replica de muestra o muestra nueva se debe encender nuevamente el sistema de ventilación de 5-10 minutos entre cada medida.

Nota: El no ventilar correctamente ocasiona errores en las medidas, además la acumulación de vapores pueden ser perjudiciales para el operario.

- El operario debe consultar las hojas de seguridad de las sustancias a medir, en caso de ser desconocida debe indagar acerca del origen de dicha sustancia a fin de tener la mayor información posible acerca del compuesto debido al carácter explosivo o tóxico que manejan algunas sustancias.
- Antes de accionar la fuente de ignición (arco eléctrico), se debe apagar la plancha de calentamiento y la agitación.

Nota: El arco eléctrico puede enviar la corriente eléctrica a la plancha y dañar el equipo.

- La fuente de ignición solo se debe encender desde los controladores externos de la campana. Bajo ningún motivo se debe introducir objetos o partes del cuerpo dentro de la campana, esto a fin de evitar que la bobina de Tesla

consiga un mejor hilo conductor que el cable dispuesto y pueda ocasionar quemaduras o pérdidas fatales al operario.

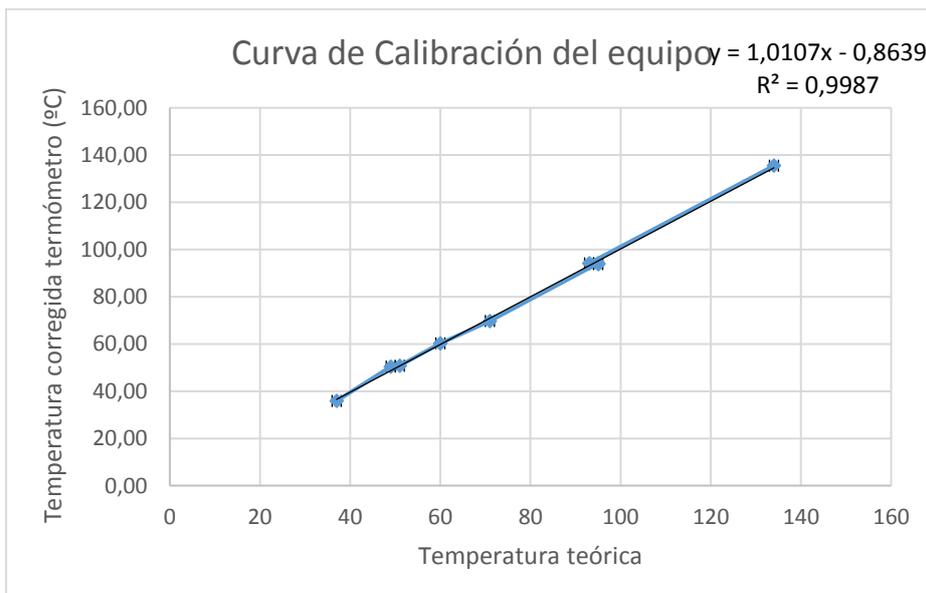
- En caso de explosión, la campana de presurización sirve de barrera para contener el estallido, así mismo se dispone a pocos metros de un lavaojos y ducha de emergencia.
- Como parte de su protección personal, el operario debe trabajar con bata, lentes de seguridad y zapatos cerrados.

V. Limpieza del equipo

- Lavar muy bien con agua y jabón el matraz de tres bocas, seguidamente enjuagar con acetona y secar en la estufa o al aire libre. Es importante que no queden residuos de agua en el matraz.
- Con ayuda de algodón humedecido en acetona, limpiar muy bien la punta de la bobina de Tesla que está expuesta a los vapores de la muestra. Igualmente el termómetro.

VI. Calibración del equipo

El equipo presenta una curva de calibración mostrada a continuación:



Con los siguientes patrones:

Compuestos
n-butanol
n-pentanol
n-decano
1-hexanol
2-octanol
1-nonanol
1-decanol
alcohol bencílico
n-Hexadecano

Debemos tomar en cuenta que con el pasar del tiempo, los equipos deben ser calibrados constantemente, para ello utilizar patrones con alto porcentaje de pureza. También se pueden emplear otros patrones que no estén contemplados en esta lista.

VII. Determinación de punto de inflamabilidad de sustancias conocidas

- Verificar que el equipo este montado correctamente, con el sistema de ventilación apagado.
- Verificar que los instrumentos y materiales se encuentren limpios y secos.
- Introducir 3mL de la muestra en el matraz de tres bocas e introducir el agitador magnético.
- Por uno de los orificios extremos introducir la punta de la bobina de tesla y por el otro el extremo de cable conectado a tierra.
- En el orificio central del matraz introducir el termómetro.



- Encender la plancha de calentamiento ajustando la temperatura a una velocidad de 1°C/min y encender la agitación. Para puntos de inflamabilidad altos aumentar la velocidad hasta unos 15°C por debajo de punto de inflamación esperado y disminuirlo nuevamente a la velocidad señalada.
- Encender el interruptor que forma el arco eléctrico (fuente de ignición) desde el exterior de la campana, interrumpiendo antes la agitación apagando la plancha, unos 10°C por debajo del punto de inflamación esperado cada 1°C
- Registrar la temperatura más baja a la cual se observa un destello sobre la muestra.
- Registrar la presión barométrica y corregir la presión utilizando la ecuación $PI = C + 0,033^{\circ}C/mmHg(760mmHg - P)(1)$

Donde,

PI = punto de inflamación corregido

C = punto de inflamación observado en °C

P = presión barométrica en mmHg

- Realizar las medidas al menos tres veces, asegurándose de purgar bien el matraz de tres bocas.

VIII. Determinación de punto de inflamabilidad de sustancias desconocidas.

- Verificar que el equipo este montado correctamente, con el sistema de ventilación apagado.
- Verificar que los instrumentos y materiales se encuentren limpios y secos.
- Introducir 3mL de la muestra en el matraz de tres bocas e introducir el agitador magnético.
- Por uno de los orificios extremos introducir la punta de la bobina de tesla y por el otro el extremo de cable conectado a tierra.
- En el orificio central del matraz introducir el termómetro.
- Encender la plancha de calentamiento ajustando la temperatura a una velocidad de 1°C/min y encender la agitación.
- Encender la fuente de ignición, interrumpiendo antes la agitación apagando la plancha, haciendo un barrido cada 5°C.
- Registrar la temperatura a la cual se observa un destello sobre la muestra.
- Apagar la plancha, ventilar el sistema, descartar la muestra y tomar nuevamente 3 mL de muestra, asegurándose de disponer el equipo correctamente como ya se mencionó.
- Encender nuevamente la plancha de calentamiento ajustando la temperatura a una velocidad de 1°C/min y la agitación.
- Encender nuevamente la fuente de ignición, interrumpiendo antes la agitación apagando la plancha, unos 5°C por debajo del punto de inflamación preliminar cada 1°C.
- Registrar la temperatura más baja a la cual se observa un destello sobre la muestra.
- Registrar la presión barométrica y corregir la presión utilizando la ecuación (1).
- Realizar las medidas al menos tres veces, asegurándose de purgar bien el matraz de tres bocas y la campana entre cada medida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Gaceta Oficial Extraordinaria No 5245 «Decreto 2635. Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de desechos peligrosos,» [Internet] [Actualizado 03 Agosto 1998; Citado mayo 2018].
Disponible en:
adan.org.ve/documentos/Materiales_Recuperables_y_deechos_peligrosos.pdf.
- [2] M. Massera, H. Piñeda, N. Rearte, C. Bologna, «Gestión Integral de Residuos Peligrosos de la Universidad de Río Cuarto,» [Internet]. [Actualizado 2011; Citado mayo 2018]. Disponible en:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/peru/argres002.pdf>.
- [3] F. García, «Plan de Gestión Integral de residuos y desechos para empresa del sector químico y metalmecánico» [En internet]. [Actualizado enero 2011; citado mayo 2018] Disponible en: <http://159.90.80.55/tesis/000151232.pdf>.
- [4] E. De La Concha, «Propuesta de una gestión de almacenamiento de reactivos y manejo de residuos generados en los laboratorios de docencia de la facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela,» [Internet]. [Actualizado mayo 2015; citado mayo 2018] Disponible en:
<http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/13363/1/TESIS%20FINAL%203.pdf>
- [5] V. Fernandes, «Propuesta de manual de gestión de almacenamiento de los desechos y residuos generados en los laboratorios de docencia de la escuela de química de la facultad de ciencias,» [Internet]. [Actualizado mayo 2015; citado mayo 2018] Disponible en:
<http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/13362/1/TESIS%20DE%20INVESTIGACION%20VANESSA%20FERNANDES.pdf>

- [6] F. Soto, A. Obaya, C. Guerrero «Almacenamiento y manipulación de los residuos peligrosos,» [Internet]. [Actualizado Septiembre 1996; citado mayo 2018]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/475/47540506.pdf>.
- [7] J. Yang, A. Gong, Y. Li, Z. Liu, T. Fang, R. Jiang, et al, «The density, viscosity, vapor pressure, melting point and flash point of a liquid,» *Fluid Phase Equilibria* [Internet] 2016 [Citado mayo 2018]; 429: 113-118 Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037838121630396X>
- [8] J. In, «Flash point for binary mixtures of methylcyclohexane, n-heptane» *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* [Internet] 2015 [Citado mayo 2018]; 32: 327-331 Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X15004220>.
- [9] V. A. Murav'eva, L. I. Kudryavtseva «Dependence of the flash point and ignition point on the composition of aqueous solutions of amide solvents,» *Chemistry And Technology Of Man-Made Fibres* [Internet] 1984 [Citado mayo 2015] 16(1); 9-10. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00543164>
- [10] G. V. Shuvalov «An experimental investigation of a method of determining the flash point of petroleum products,» *Measurement Techniques*, [Internet] 2009.[Citado mayo 2018] 52(1); 1119-1121. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00543164>
- [11] I. Akhmetzhanov. N. Nikulina, S. Dmitriev, «Relationship of flash point and boiling point for individual organic compounds,» *Plenum Publishing Corporation*. 1974; 637-638
- [12] J. Loayza, «Gestión integral de residuos químicos peligrosos,» *Revista de la Sociedad Química del Perú* [Internet]. 2007 [Citado mayo 2018] 73(4) Disponible en:

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2007000400009.

- [13] M. Tovar , G. Losada, F. García «Impacto en la salud por el inadecuado manejo de los residuos peligrosos,» Ing. USBMed [Internet]. 2015 [Citado mayo 2018]. 6(2); 46-50. Disponible en:
<http://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/viewFile/1731/1497>.
- [14] R. Inunza, «Procedimiento e Instructivo para el manejo de residuos,» [Internet]. [Actualizado 10 octubre 2015; Citado mayo 2018].
- [15] J. González, «Introducción a las técnicas de caracterización,» [Internet]. [Citado mayo 2018]. Disponible en: http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/caracterizacion-de-materiales/material-de-clase-1/Intoduccin_a_las_Tecnicas_de_Caracterizacion.pdf.
- [16] R. Osorio, «Propiedades físicas y químicas,» Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Antioquia [Internet]. [Actualizado 19 junio 2015; Citado mayo 2018] Disponible en:
<http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/ocw/mod/page/view.php?id=226>.
- [17] J. Martínez, M. Mallo, R. Lucas, J. Álvarez, A. Salvarrey, P. Gristo «Guía para la gestión integral de residuos peligrosos,» [Internet]. [Actualizado septiembre 2005; Citado mayo 2018] Disponible en:
http://www.cempre.org.uy/docs/biblioteca/guia_para_la_gestion_integral_residuos/gestion_respel01_fundamentos.pdf.
- [18] E. Caballero, «Química y Física del Fuego,» ProSeguridad, [Internet]. [Actualizado febrero 2008; Citado mayo 2018] Disponible en:
<https://proseguridad.com.ve/incendios/quimica-y-fisica/>
- [19] F. Menéndez, F. Fernández, F. Llana, I. Vázquez, J. Rodríguez, M. Espeso . «Formación superior en prevención de riesgos laborales,» [Internet]. 4ta edición. España: Lex Nova. 2009 [Actualizado 2009; Citado mayo 2018]

Disponible en:

https://books.google.co.ve/books?id=_RGlvwd2A84C&pg=PA215&dq=tetraedro+del+fuego&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjy6GPsdBaAhXK6IMKHT2QASYQ6AEIJTAA#v=onepage&q=tetraedro%20del%20fuego&f=false

- [20] E. Turmo Sierra, «NTP 379: Productos inflamables: variación de los parámetros de peligrosidad,» [Internet]. [Actualizado 1995; Citado mayo 2018]

Disponible en:

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_379.pdf

- [21] «El triángulo del fuego,» [Internet]. [Actualizado 09 noviembre 2006; Citado mayo 2018] Disponible en: <http://puedeserquelavida.blogspot.com/2006/11/el-tringulo-del-fuego.html>.

- [22] Julio de Paula, «Cinética de reacciones complejas. Reacciones en cadena,» Atkins Química Física. 8va edición. China: Ed. Médica Panamericana; 2008. p. 830-838.

- [23] I. Tebar, «MANUAL DE NATURALEZA DEL FUEGO,» [Internet]. [Citado mayo 2018] Disponible en:

<http://cursosemergencias.blogspot.com/2011/12/naturaleza-del-fuego.html>.

- [24] Academia Nacional de Bomberos - Chile, «Guía del instructor,» [Internet]. [Citado mayo 2018].

- [25] Proin-Pinilla, «Punto de inflamación de líquidos inflamables,» Zaragoza [Internet]. [Actualización 2017; Citado mayo 2018] Disponible en: <http://equiposproteccion.com/punto-de-inflamacion-de-liquidos-inflamables/>.

- [26] C. Enright, «Determinación del punto de inflamación,» Manual 72, Práctica para la determinación del punto de inflamación: un recurso para el laboratorio,

- [Internet]. [Actualizado octubre 2013; Citado mayo 2018] Disponible en:
https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPSO13/infocus_sps13.html.
- [27] Norma Venezolana COVENIN 425:2001, «Hidrocarburos Líquidos. Determinación de punto de inflamación. Método Pensky-Martens,» [Internet]. [Actualizado 25 julio 2001; Citado mayo 2018] Disponible en:
<http://www.sencamer.gov.ve/sencamer/normas/425-01.pdf>.
- [28] EcuRed, «Ignición,» [Internet]. [Citado mayo 2018] Disponible en::
<https://www.ecured.cu/Ignici%C3%B3n>.
- [29] National Fire Protection Association, «Código de Líquidos inflamables y combustibles» [Internet]. [Actualizado 1996; Citado mayo 2018] Disponible en:
<http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Norma-NFPA-30.pdf>.
- [30] R. Asfahl, «Materiales inflamables y combustibles,» Seguridad industrial y salud, Arkansas. 4ta edición. México: Pearson Educación. p. 203-206.
- [31] Tox Town, «Compuestos orgánicos volátiles,» [Internet]. [Actualizado 19 mayo 2017; Citado mayo 2018] Disponible en:
<https://toxtown.nlm.nih.gov/espanol/chemicals.php?id=41>.
- [32] Y. Cengel, «Clasificación de los flujos de un fluido,» Transferencia de calor, México: McGrawHill. 2004, p. 337.
- [33] EcuRed, «Lubricante,» [Internet]. [Citado mayo 2018] Disponible en:
<https://www.ecured.cu/Lubricante>.
- [34] Seguros y Reaseguros Rimac, «Incendio, Fuentes de ignición,» 2014. [Internet]. [Actualizado 2014; Citado mayo 2018] Disponible en:
<http://prevencionrimac.com/riesgopatrimoniales/Herramientas/Causa-siniestros/Incendios/Fuentes-ignicion>.

- [35] J. Gaxiola, «Arco eléctrico,» Curso de capacitación en soldadura, México, DF:Limusa. 2016. p. 55.
- [36] Cincosildo, «Límites de inflamabilidad,» [Internet]. [Actualizado 14 abril 2009; Citado mayo 2018] Disponible en:
<http://elmundodelosbomberos.blogspot.com/2009/04/en-una-mezcla-de-gases-como-las-que.html>.
- [37] Bi-Fuel , «Bi-Fuel combustibles alternativos,» [Internet]. [Citado mayo 2018].Disponible en: <http://bi-fuel.es/combustibles-alternativos/glp/>.
- [38] American Society for Testing and Materials, «Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland,» [Internet]. [Citado mayo 2018] Disponible en:
<http://sitecal.com.bo/files/4.%20METODO%20PARA%20DETERMINAR%20LOS%20PUNTOS%20DE%20INFLAMACION%20Y%20COMBUSTION%20MEDIANTE%20LA%20COPA%20ABIERTA%20DE%20CLEV.pdf>.
- [39] Environmental Protection Agency, «Método para determinar punto de inflamación (método de copa cerrada Pensky-Martens),» [Internet]. [Citado mayo 2018] Disponible en:
http://www.sofofa.cl/ambiente/agenda%20ambiental/ResiduosPeligrosos/Copa_Cerrada_Pensky_Martens_EPA_1010.pdf.
- [40] Norma Venezolana COVENIN 896-93, «Derivados del petróleo. Determinación del punto de inflamación. Método TAG de copa cerrada,» [Internet]. [Actualizado 01 diciembre 1993; Citado mayo 2018] Disponible en:
<http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/896-93.pdf>.
- [41] Norma Venezolana COVENIN 2765-91, «Productos del petróleo. Determinación del punto de inflamación mediante probador setaflash copa cerrada» [Internet]. [Actualizado 11 agosto 1993; Citado mayo 2018] Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2765-93.pdf>.

- [42] D. Skoog, D. West, «Evaluación de los resultados analíticos. Definiciones,» Introducción a la Química Analítica, Barcelona: Reverté S.A. 2002. p. 39-40.
- [43] Universidad Complutense Madrid, «Bobina de Tesla,» [Internet]. [Actualizado 11 julio 2013; Citado mayo 2018] Disponible en:
https://www.ucm.es/data/cont/docs/76-2013-07-11-29_Tesla_coil.pdf.
- [44] Electro-Technic Products, «BD-10AS High Frequency Generator,» [Internet]. [Citado mayo 2018] Disponible en: <https://www.amazon.com/BD-10AS-High-Frequency-Generator-Tesla/dp/B00QMGMHQG#feature-bullets-btf>.
- [45] I. Sierra, D. Pérez, S. Gómez, S. Morante «Términos fundamentales en análisis químico,» de Análisis instrumental : algunas herramientas de enseñanza-aprendizaje adaptadas al espacio europeo de educación superior. 1era Edición. España: Netbiblo S.L. 2010. p.23
- [46] D. Harris, «Comparación de medidas utilizando la t de Student,» Análisis químico cuantitativo. 3era Edición. Barcelona: Editorial Reverté. 2007, p. 69-70.
- [47] G. transmerquim, «Hoja de Datos de Seguridad n-butanol,» [Internet]. [Actualizado agosto 2014; Citado mayo 2018] Disponible en:
<http://www.gtm.net/images/industrial/a/ALCOHOL%20BUTILICO.pdf>.
- [48] PROQUIMSA, «MSDS P-10,» [Internet]. [Citado mayo 2018] Disponible en:
http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/hs_butanol.pdf.
- [49] Norma ASTM, «Método para determinar el punto de inflamación (copa cerrada Setaflash),» [Internet]. [Citado mayo 2018] Disponible en:
http://www.sofofa.cl/ambiente/agenda%20ambiental/ResiduosPeligrosos/Copa_Cerrada_Setaflash_EPA_1020.pdf.

- [50] Alfa Aesar, «Hoja de seguridad n-pentanol,» [Internet]. [Actualizado 08 enero 2016; Citado mayo 2018] Disponible en:
<https://www.alfa.com/es/content/msds/SouthAmerican/L05057.PDF>.
- [51] Honeywell, «Ficha de datos de seguridad,» [Internet]. [Actualizado 14 mayo 2017; Citado mayo 2018] Disponible en: https://msds-resource.honeywell.com/ehswww/hon/result/result_single_main.jsp?P_LANGU=E&P_SYS=1&C001=MSDS&C997=C100;S%2BC101;SDS_ES%2BC102;ES%2B3400&C100=S&C101=SDS_ES&C102=ES&C005=000000020732&C008=&C006=HON&C013=&
- [52] Ventós, «Datos técnicos. Alcohol amilico,» [Internet]. [Citado mayo 2018] Disponible en:
<https://www.ventos.com/index.php/es/producto/2035/ALCOHOL+AMILICO>.
- [53] karal, «hoja de datos de seguridad,» [Internet]. [Actualizado mayo 2014; Citado mayo 2018] Disponible en:
http://www.karal.com.mx/admin/seguridad/uploads/DECANO%20R.A._HsVen01%20Hoja%20de%20datos%20de%20seguridad%20.pdf.
- [54] Laboratorios Merck, «n-decano,» [Internet]. [Citado mayo 2018] Disponible en:
http://www.merckmillipore.com/VE/es/product/n-Decane,MDA_CHEM-803405?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.co.ve%2F.
- [55] Cor Química S.I, «Ficha de datos de seguridad,» [Internet]. [Actualizado 15 abril 2005; Citado mayo 2018] Disponible en:
<http://cor.es/eng/pdf/disolventes/INDUSOL%200-10.pdf>.
- [56] Laboratorios Merck, «Ficha de seguridad,» [Internet]. [Actualizado 22 enero 2008; Citado mayo 2018] Disponible en:
http://www.merckmillipore.com/INTERSHOP/web/WFS/Merck-VE-Site/es_ES/-/VEF/ProcessMSDS-Start?PlainSKU=MDA_CHEM-804393&ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.co.ve%2F

- [57] Carl Roth, «Ficha de datos de seguridad,» [Internet]. [Actualizado 27 febrero 2017; Citado mayo 2018] Disponible en:
https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/3/SDB_3847_ES_ES.pdf.
- [58] Loba Chemie, «n-hexanol for synthesis,» [Internet]. [Actualizado 03 noviembre 2017; Citado mayo 2018] Disponible en:
<https://www.lobachemie.com/Alcohols-04054/nHEXANOL-CASNO-111-27-3.aspx>.
- [59] Flinn Scientific, «Material Safety Data Sheet (MSDS),» [Internet]. [Actualizado 29 agosto 2011; Citado mayo 2018] Disponible en:
<http://archpdfs.lps.org/Chemicals/Octanol-2.pdf>.
- [60] Science Lab «Material Safety Data Sheet,» [Internet]. [Actualizado 21 mayo 2013; Citado mayo 2018] Disponible en:
<http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9927680>.
- [61] Environmental Protection Agency EPA, «Chemistry Dashboard,» [Internet]. [Citado mayo 2018] Disponible en:
<https://comptox.epa.gov/dashboard/dsstoxdb/results?search=1-Nonanol>
- [62] Laboratorios Merck, «Ficha de datos de seguridad,» [Internet]. [Actualizado 09 noviembre 2017; Citado mayo 2018] Disponible en:
http://www.merckmillipore.com/INTERSHOP/web/WFS/Merck-VE-Site/es_ES/-/VEF/ProcessMSDS-Start?PlainSKU=MDA_CHEM-803463&Origin=PDP.
- [63] Carol Roth, «Ficha de datos de seguridad,» 03 febrero 2017. [Internet]. [Citado mayo 2018] Disponible en:
https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/4/SDB_4151_ES_ES.pdf.
- [64] Universal Crop Protection, «MATERIAL SAFETY DATA SHEET,» [Internet]. [Actualizado julio 2015; Citado mayo 2018] Disponible en:
http://www.villacrop.co.za/files/Decanol%20EC_UCP_MSDS.pdf.

- [65] Karal, «Hoja de datos de seguridad» [Internet]. [Actualizado 14 mayo 2014; Citado mayo 2018] Disponible en:
http://www.karal.com.mx/admin/seguridad/uploads/ALCOHOL%20BENCILICO%20_HsVen001%20Hoja%20de%20datos%20de%20seguridad.pdf.
- [66] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, «Fichas Internacionales de Seguridad Química,» [Internet]. [Actualizado 1994; Citado mayo 2018] Disponible en:
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/801a900/nspn0833.pdf>.
- [67] Sintorgan reactivos analíticos, «Hoja de seguridad,» [Internet]. [Actualizado junio 2016; Citado mayo 2018] Disponible en:
<http://www.sintorgan.com/msds/alcohol%20bencilico.pdf>.
- [68] Laboratorios Merck, «Ficha de datos de seguridad,» [Internet]. [Actualizado 28 junio 2017; Citado mayo 2018] Disponible en:
http://www.merckmillipore.com/INTERSHOP/web/WFS/Merck-VE-Site/es_ES/-/VEF/ProcessMSDS-Start?PlainSKU=MDA_CHEM-820633&Origin=PDP.
- [69] Thermo Fisher Scientific, «Ficha de datos de seguridad,» [Internet]. [Actualizado 11 septiembre 2017; Citado mayo 2018] Disponible en:
<https://www.alfa.com/es/content/msds/SouthAmerican/44511.pdf>.
- [70] Sigma-Aldrich, «Material Safety Data Sheet,» [Internet]. [Actualizado 24 enero 2014; Citado mayo 2018] Disponible en:
<https://www.nwmissouri.edu/naturalsciences/sds/h/Hexadecane.pdf>.
- [71] Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 1493: Productos de petróleo. Determinación del punto de inflamación en vaso cerrado (Pensky-Martens),» [Internet]. [Actualizado 05 mayo 2005; Citado mayo 2018] Disponible en: <https://archive.org/details/ec.nte.1493.2005>.

