

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“ANÁLISIS DE RIESGOS DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN EN  
UNA PLANTA DE ALMACENAMIENTO DE LÍQUIDOS  
INFLAMABLES”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERA QUÍMICA**

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

**CINTHYA DENISSE ARTETA BERROSPI**

LIMA – PERÚ

2013

## INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN .....	6
1.1 Antecedentes .....	6
1.2 Justificación e Impacto .....	7
1.3 Área de investigación.....	8
1.4 Objetivos.....	8
2. INTRODUCCION A LA CIENCIA DEL FUEGO.....	9
2.1 Medición del Calor.....	9
2.1.1 Medición del Calor.....	9
2.1.2 Unidades de Calor.....	9
2.1.3 Calor Especifico.....	10
2.1.4 Calor Latente.....	10
2.2 Principios del Fuego.....	12
2.2.1 Propagación Vertical de la Llama.....	14
2.2.2 Velocidad de Propagación del Fuego .....	15
2.3 Combustión .....	16
2.3.1 Límites de Inflamabilidad.....	16
2.4 Etapas del Fuego.....	18
2.4.1 Ignición.....	18
2.4.2 Propagación del Fuego.....	21
2.4.3 Incendio en Estado Estacionario .....	23
2.4.4 Terminación o Extinción del Fuego .....	23
2.5 Clasificación del Fuego.....	24
2.6 Líquidos Inflamables .....	24
2.7 Incendio Tipo Piscina .....	25
2.8 Incendio de Ebullición Desbordante - "Boil Over", "Slop Over" .....	26
2.8.1 Rebosamiento por Ebullicón .....	26
2.8.2 Rebosamiento Superficial .....	28
2.9 Explosiones.....	29

2.9.1	Deflagración.....	29
2.9.2	Detonación.....	29
2.9.3	Explosión por la Expansión del Vapor de un Líquido en Ebullición.....	29
3.	ANALISIS DE RIESGOS DE INCENDIO Y EXPLOSION EN UNA PLANTA DE ALMACENAMIENTO DE LIQUIDOS INFLAMABLES .....	32
3.1	Conceptos .....	32
3.1.1	Riesgo.....	32
3.1.2	Area de Fuego .....	32
3.1.3	Evaluación del Riesgo.....	32
3.2	Análisis del Riesgo.....	32
3.2.1	Presentación del Riesgo .....	32
3.2.2	Lucha Contra Incendios.....	37
3.2.3	Identificación de Escenarios de Riesgos de Incendio y/o Explosión .....	38
3.2.4	Método de Pool Fire: Zonas de Fuego y Pérdida Máxima Estimada .....	40
4.	CONCLUSIONES .....	50
5.	BIBLIOGRAFIA .....	51
6.	GLOSARIO .....	52
6.1	Terminología Básica de Seguros .....	52
6.2	Conceptos .....	53

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Tanto la seguridad como la ingeniería en las industrias son antiguas; sin embargo, muchas veces la seguridad pasó desapercibida como una rama hasta los años sesenta. Luego de este año, una nueva generación de plantas, más grandes que las anteriores empezaron a operar a presiones y temperaturas más elevadas y se vieron implicadas en cierto número de incendios y explosiones de gran relevancia. Todo ello hizo que la industria se diera cuenta de la importancia de prevenir los accidentes y de realizar un estudio mucho más profundo y técnico que cualquier otro aspecto de la operación y diseño de plantas conocido como *Análisis de Riesgos*.

En el Perú, existen diferentes trabajos basados en la seguridad. A continuación, se presentan algunos de ellos desarrollados en la Universidad Nacional de Ingeniería:

- Estudio de riesgos de explosión en plantas de almacenamiento de líquidos inflamables clase I

Autor: Nancy Luisa Osorio Román

Facultad: Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica

Año de Publicación: 2008

Muestra que para estimar los riesgos potenciales que hay en una planta se deben realizar auditorías y revisiones a los procedimientos, inspecciones a las instalaciones donde se pueda tolerar el error humano y los fallos en sellos de las bombas, compresores, bridas, uniones y sistemas de venteo. De esta manera, se pueda minimizar los riesgos y peligros que son frecuentes en la industria petroquímica.

Fuente: [http://cybertesis.uni.edu.pe/uni/2008/osorio\\_rn/html/index-frames.html](http://cybertesis.uni.edu.pe/uni/2008/osorio_rn/html/index-frames.html)

- Inspección de riesgos aplicados a la Industria Minero metalúrgica

Autor: Freddy Amador Chávez Osorio

Facultad: Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Año de publicación: 2007

Está orientado a los profesionales y estudiantes del sector minero-metalúrgico, para elaborar un programa de seguros para una empresa minera, con el fin de indemnizar los daños materiales y resarcir la pérdida de beneficios de la empresa a consecuencia de la ocurrencia de un siniestro que afecte sus instalaciones.

Fuente: [http://cybertesis.uni.edu.pe/uni/2007/chavez\\_of/html/index-frames.html](http://cybertesis.uni.edu.pe/uni/2007/chavez_of/html/index-frames.html)

- Prevención y control de incendios y explosiones en la producción y almacenamiento de gas licuado de petróleo – GLP

Autor: José Luis Pulido Montoya

Facultad: Facultad de Ingeniería Ambiental

Año de publicación: 2005

Fuente: [http://cybertesis.uni.edu.pe/uni/2005/pulido\\_mj/html/index-frames.html](http://cybertesis.uni.edu.pe/uni/2005/pulido_mj/html/index-frames.html)

- Análisis de riesgo de incendio en una estación de almacenamiento y bombeo de GLP y petróleo crudo

Autor: Omar José Pardon Nolasco

Facultad: Ingeniería Ambiental

Año de publicación: 2005

Este informe tiene como objetivo evaluar las consecuencias como daño a la propiedad, pérdida de beneficio y responsabilidad frente a terceros causados por derrame, incendio y/o BLEVE.

Fuente: [http://cybertesis.uni.edu.pe/uni/2000/pardo\\_no/html/index-frames.html](http://cybertesis.uni.edu.pe/uni/2000/pardo_no/html/index-frames.html)

## 1.2 Justificación e impacto

El *Análisis de riesgos de Incendio y Explosión en una planta de almacenamiento de Líquidos Inflamables* es desarrollado con la intención de dar a conocer técnicas y metodologías para la correcta evaluación de una planta de éste tipo y el cálculo de la máxima pérdida estimada. Ambos factores permitirán elaborar un correcto Plan de Seguros, que tendrá como finalidad minimizar los focos de riesgo, indemnizar los daños materiales y resarcir la pérdida de beneficios a la que una empresa pudiera estar expuesta si ocurriese un siniestro.

### **1.3 Área de Investigación**

El tema propuesto es de investigación y va de la mano con la Ingeniería de Riesgos.

### **1.4 Objetivos**

- Analizar los principales escenarios de riesgos de incendio y explosión en una planta de almacenamiento de líquidos inflamables.
- Definir las zonas de fuego.
- Cuantificar la Pérdida Máxima Estimada.

## II. INTRODUCCION A LA CIENCIA DEL FUEGO

### 2.1 Medición del Calor

La temperatura del material es la condición que determina si este va a transferir calor desde o hacia otros materiales. El calor siempre fluye de alta temperatura a baja temperatura. La temperatura se mide en grados.

#### 2.1.1 Medición de Temperatura

La temperatura es una propiedad muy importante en termodinámica, y su valor puede obtenerse fácilmente por medida indirecta con instrumentos calibrados [1]. La temperatura de un sistema se determina poniendo en contacto con el sistema un segundo cuerpo, un termómetro, y permitiendo que se alcance el equilibrio térmico. Los instrumentos que miden la temperatura tienen como principio de medición los cambios físicos como expansión de un sólido, líquido o gas, los cambios de estado, los cambios de energía (cambios en el potencial de energía eléctrica, por ejemplo voltaje), o los cambios en emisión térmica radiante y/o distribución espectral. Los instrumentos más comunes para medición de temperatura son:

- Termómetro de expansión o dilatación de líquidos: mide la expansión y contracción de líquido por cambios de temperatura.
- Termómetros bimetálicos: dos metales laminados juntos y cada metal tiene su coeficiente de expansión.
- Termopares: tiene dos alambres de metales diferentes o aleaciones metálicas. Por la diferente naturaleza de los alambres a través de la unión se genera un voltaje.
- Pirómetros: miden la intensidad de la radiación de un objeto caliente.

#### 2.1.2 Unidades de Calor

La unidad de medida del calor en el Sistema Internacional de Unidades es la misma que la de la energía y el trabajo: el Joule.

Otra unidad ampliamente utilizada para medir la cantidad de energía térmica intercambiada es la caloría (cal), que es la cantidad de energía que hay que suministrar a un gramo de agua para elevar su temperatura 1 °C. (1 kcal = 1000 cal)

Joule, tras múltiples experimentaciones en las que el movimiento de unas palas, impulsadas por un juego de pesas, se movían en el interior de un recipiente con agua, estableció el *equivalente mecánico del calor*, determinando el incremento de temperatura que se producía en el fluido como consecuencia de los rozamientos producidos por la agitación de las palas:

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$$

El BTU, (o unidad térmica británica por sus siglas en inglés) es una medida para el calor muy usada en Estados Unidos y en muchos otros países de América. Se define como *la cantidad de calor que se debe agregar a una libra de agua para aumentar su temperatura en un grado Fahrenheit*, y equivale a 252 calorías[4].

### 2.1.3 Calor Específico

El calor específico (c) de una sustancia es la cantidad de calor necesaria para elevar la unidad de masa de una sustancia 1 grado de temperatura y se mide en J/Kg(°C) o Btu/Lb(°F). La capacidad calorífica (C) de una sustancia es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado Celsius la temperatura de una determinada cantidad de la sustancia. El calor específico es una propiedad intensiva, mientras que la capacidad calorífica es una propiedad extensiva. La relación entre la capacidad calorífica y el calor específico de una sustancia es:

$$C = mc$$

Donde:

C: Capacidad calorífica expresado en J/K o Btu/°F

m: una determinada masa

c: calor específico expresado en J/Kg(K) o Btu/Lb(°F)

### 2.1.4 Calor Latente

Fase: Usado para describir un estado físico de la materia como: sólido, líquido o gaseoso.



**Cambio de fase:** Es la transición de una fase a otra. Generalmente acompañada por emisión o absorción de calor y un cambio de volumen y densidad.

El calor latente es la energía requerida por una cantidad de sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización). Se debe tener en cuenta que esta energía en forma de calor se invierte para el cambio de fase y no para un aumento de la temperatura; por tanto al cambiar de gaseoso a líquido y de líquido a gas se emplea la misma cantidad de energía.

Para pasar de la fase líquida hacia la fase sólida, un gramo de agua necesita perder 80 calorías. De la misma forma, para derretir un gramo de hielo se precisa ganar 80 calorías.

Si el agua está en fase líquida a 100°C, cada gramo precisa ganar unas 540 calorías para pasar a la fase gaseosa; mientras que, cada gramo de vapor requiere la pérdida de 540 calorías para pasar a fase líquida. Como se observa en la figura 2.1 tanto en la fusión como en la vaporización no aumenta ni disminuye la temperatura solo cambia la fase.

Calor latente del agua:

- Fusión: 334,4 kJ/kg ó 80 kcal/kg a 0 °C;
- Evaporización: 2257 kJ/kg ó 540 kcal/kg a 100 °C.

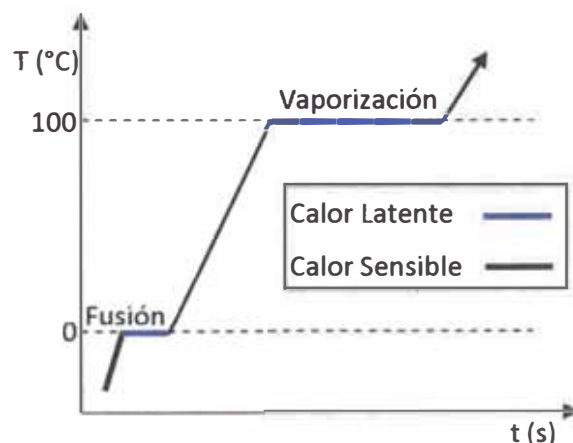


Figura 2.1 Calor latente y Calor Sensible del Agua a 1 atmósfera

## 2.2 Principio del Fuego

Se puede definir al fuego como la manifestación visual de la combustión. La combustión es la reacción química de oxidación – reducción entre un elemento oxidante, denominado comburente, y un elemento reductor, denominado combustible.

El fuego es definido por la mayoría de diccionarios como el fenómeno de combustión manifestado por luz, llamas y calor. Por otro lado, la combustión es definida como el proceso químico de oxidación acompañado por la evolución de luz y calor [2].

Por lo tanto, el fuego es un proceso químico que emite luz, llamas y calor. Debido a que la reacción libera calor es denominada reacción exotérmica mientras que las reacciones endotérmicas son las que absorben calor. Se debe entender que el fuego es un fenómeno fluido que implica mezclas variables de combustible, oxígeno (comburente) y principios termodinámicos.

El comburente es el gas o mezcla de gases que permite el inicio y desarrollo del fuego, ya que participa en la combustión oxidando al combustible. Todos los comburentes tienen en su composición oxígeno disponible, bien en forma molecular o en ozonos y óxidos que ceden el oxígeno en el momento de la combustión. Para que se produzca la combustión es necesaria la presencia de una proporción mínima de oxígeno, que por regla general va de 15% o hasta casos extremos de 5%. Por ejemplo, el aire contiene una concentración de oxígeno de 21% aproximadamente.

El combustible es la sustancia que en presencia de oxígeno y aportándole una cierta energía de activación, es capaz de arder y liberar energía. Los combustibles pueden clasificarse según su naturaleza en combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Su principal característica es su poder calorífico, que es el calor desprendido por la combustión completa de una unidad de masa (Kilogramo), y está expresado en Joule.

Adicionalmente, el combustible necesita cierta Energía de Activación, proveniente de una fuente de energía o fuente de ignición para iniciar la reacción. La fuente de ignición puede ser de origen térmico, eléctrico, químico, mecánico y nuclear. Es

necesario calor para que la temperatura del combustible aumente y desprenda vapores que permitirán la ignición.

En resumen, para poder entender el concepto del fuego se deben reconocer sus elementos. Por muchos años ha existido una representación básica del Triángulo de Fuego que consiste en tres elementos representados por calor, comburente y combustible como se puede observar en la figura 2.2. Estos tres elementos del triángulo deben estar presentes para que pueda producirse fuego. Quitar uno de estos elementos permitiría controlar o extinguir el fuego.



Figura 2.2 Triángulo de Fuego

Durante mucho tiempo, las técnicas de prevención, protección y lucha contra incendios se basaron en la teoría del Triángulo del Fuego. Más tarde se desarrolló una nueva teoría que añadía un nuevo factor: la reacción en cadena [2]. Si se interrumpe la transmisión de calor de unas partículas a otras en el combustible, no será posible la continuación del incendio. La reacción en cadena añadida a los otros tres elementos constituye *El Tetraedro de Fuego* como se observa en la figura 2.3.

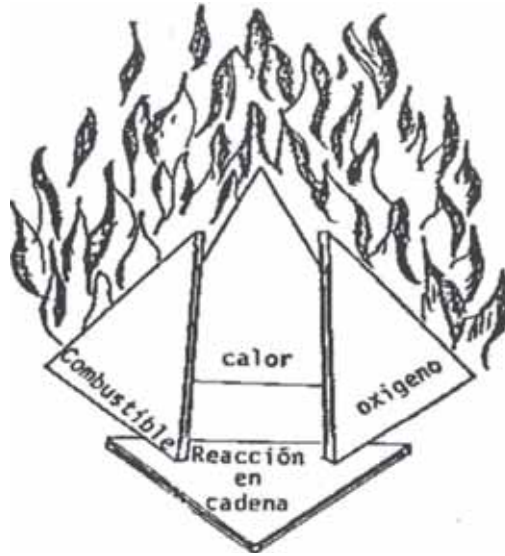


Figura2.3 Tetraedro de Fuego

### 2.2.1 Propagación Vertical de la llama

Una vez generada la ignición, los sólidos pueden quemarse en cualquier orientación (horizontal, diagonal o vertical), denominado fuegos dimensionales. Pero la propagación de la llama es más rápida si la superficie se encuentra en posición vertical.

La propagación de la llama puede representarse como un frente de avance de la ignición en donde el extremo frontal de la llama actúa como fuente de ignición del combustible que todavía no está ardiendo. La propagación vertical en sentido ascendente es la más rápida, pues la flotabilidad garantiza que las llamas se desplacen hacia arriba, y así la superficie superior al área de combustión queda expuesta a la transferencia directa del calor de las llamas (conducción y radiación). Compárese esta situación con la propagación en una superficie horizontal, en que las llamas del área de combustión se elevan verticalmente, lejos de la superficie. Realmente, la experiencia demuestra que la propagación vertical es la más peligrosa; por ejemplo, la propagación de llamas en cortinas y sábanas o en ropas sueltas como camiones).

### 2.2.2 Velocidad de Propagación del Fuego

El ratio de calor liberado (HeatReleaseRate – HRR) es el valor más importante para describir un incendio. La curva de HRR con respecto al tiempo representa la velocidad de crecimiento del fuego. Para líquidos y sólidos combustibles la iniciación de las llamas ocurre en fase gas. Se debe suministrar primero la energía térmica (calor) para convertir una parte suficiente del combustible en vapor, creando así una mezcla inflamable de vapor y aire en la vecindad de la superficie. Para la mayoría de combustibles líquidos este es simplemente un proceso de evaporación, pero casi todos los combustibles sólidos deben sufrir descomposición química antes de que se libere vapor. Esta es la razón por la cual los armarios de madera (Solid Wood Cabinets), por ejemplo, presenta una curva de HRR lenta como se muestra en la figura 2.4.

La evolución exacta del incendio es muy difícil de predecir; incluso, si contamos con información detallada del combustible y su distribución exacta. Básicamente, el área de quemado, la cual está definida por la capacidad de propagación de la llama, es la que lidera el comportamiento del fuego. Al mismo tiempo, depende del tamaño de la llama, temperatura y tiempo de quemado.; en otras el comportamiento del fuego varía debido a diversas variables.

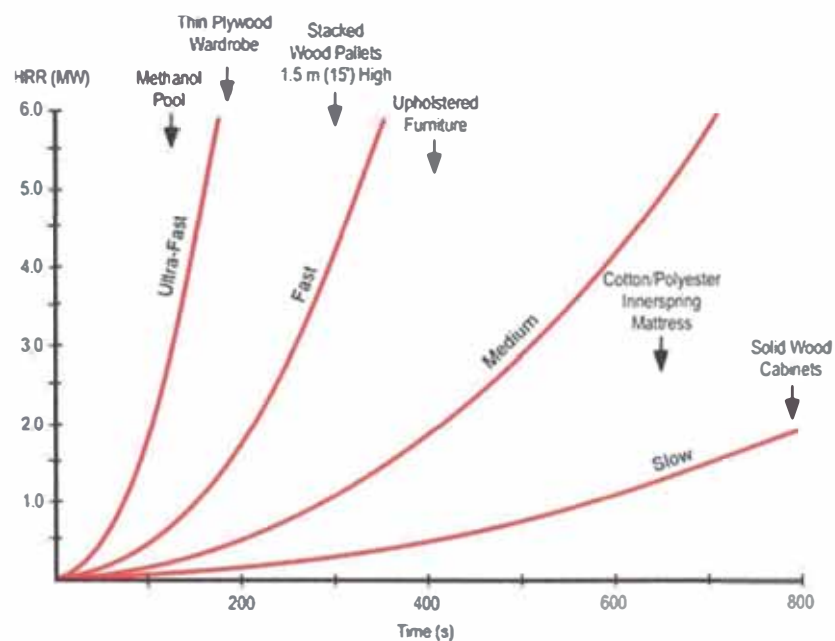


Figura 2.4 Medidas de diferentes HRR

## 2.3 Combustión

La combustión es una reacción exotérmica auto-mantenida que involucra un combustible sólido, líquido, y/o en fase de gas. El proceso está usualmente (pero no necesariamente) asociado con la oxidación de un combustible por oxígeno atmosférico. Algunos sólidos pueden quemarse directamente por combustión incandescente o en brasas sin llamas, pero en la combustión en llamas de combustibles sólidos y líquidos, la vaporización sucede antes de la combustión. Es necesario distinguir entre dos tipos de llamas: 1. Premezclada, en la cual el combustible gaseoso se mezcla íntimamente con aire antes de la ignición, y 2. Difusiva, en la que la combustión tiene lugar en las regiones donde se está mezclando el combustible y el aire [1]. Si tiene lugar la combustión premezclada en un lugar encerrado, ocurre una elevación rápida de presión, pudiendo producir una explosión.

### 2.3.1 Límites de Inflamabilidad

Definen el intervalo o rango de concentraciones de gas inflamable (o vapor) en aire que se incendian si se introduce una fuente de ignición; por ejemplo, una llama o chispa eléctrica en la mezcla. En la tabla 2.1 se observa que a 25°C, las mezclas metano/aire son inflamables solamente entre 5 por ciento (límite bajo o inferior de inflamabilidad) y 15 por ciento (límite superior o alto de inflamabilidad) en volumen. Por debajo de 5 por ciento, la mezcla es demasiado pobre para incendiarse, mientras que por encima de 15 por ciento es demasiado rica para arder. Los límites para el hidrógeno son mucho más amplios (4% y 74% respectivamente). Cuando la temperatura de la mezcla aumenta, se amplía el rango de inflamabilidad, y cuando se reduce la temperatura el rango se reduce. Un aumento de temperatura puede hacer que una mezcla no inflamable se vuelve inflamable al colocarla dentro del rango de inflamabilidad asociado con la temperatura más alta [1].

Tabla 2.1 Límites de inflamabilidad para gases y vapores típicos a 25°C

	Límite menor de inflamabilidad		Límite mayor de inflamabilidad	
	% / Volumen	g/m <sup>3</sup>	% / Volumen	g/m <sup>3</sup>
Hidrógeno	4.00	3.6	75	67
Metano	5.00	36	15	126
Propano	2.10	42	9.5	210
n-Octano	0.95	49	--	--
Etileno	2.70	35	36	700
Acetileno	2.50	29	(100)	--
Metanol	6.70	103	36	810
Etanol	3.30	70	19	480
Acetona	2.60	70	13	390

Fuente: NFPA, Manual de Protección Contra Incendios, página 22

### 2.3.1.1 Punto de Inflamación – copa cerrada

El punto de inflamación copa cerrada de un combustible líquido es la temperatura a la cual su presión de vapor corresponde al límite más bajo de inflamabilidad del vapor [1]. La copa cerrada asegura que haya equilibrio entre el líquido y el vapor. Cuando se introduce una fuente de ignición en el espacio cerrado del vapor sobre la superficie líquida, se observa un flamazo que se propaga por la mezcla, consumiendo momentáneamente todo el vapor del combustible. La determinación se puede hacer en el Aparato Pensky – Martens. Se debe tener en cuenta que el punto de inflamación disminuye a medida que disminuye la presión atmosférica; este es el caso en los tanques de combustible de los aviones.

### 2.3.1.2 Punto de Inflamación – copa abierta

El punto de inflamación copa abierta de un combustible líquido se determina bajo condiciones donde el vapor del combustible puede difundirse lejos de la superficie del líquido [1]. Es la temperatura más baja de la masa del líquido a la cual se observa un flamazo al poner una fuente de ignición al borde

del recipiente. Todo el vapor del combustible dentro de los límites de inflamabilidad se consume momentáneamente y la llama no dura. Esta determinación se hace en el aparato Cleveland Copa Abierta.

#### 2.3.1.3 Punto de Combustión

El punto de combustión de un líquido se determina normalmente en un aparato copa abierta como el Aparato Cleveland Copa Abierta. Es la menor temperatura de una masa de líquido a la cual la ignición de los vapores del combustible es seguida por la combustión continua del líquido. Como regla general, punto de inflamación copa cerrada < punto de inflamación copa abierta < punto de combustión (Para el n-decano estas temperaturas son 46°C, 56°C, y 64°C respectivamente) [1]. A la temperatura de combustión o superior, los vapores se están generando a una velocidad que puede sostener la llama. Para los combustibles típicos, la velocidad mínima de vaporización requerida para sostener la combustión es del orden de los 2g/m.s<sup>2</sup>.

Debe enfatizarse que si hay una fuente de ignición presente, los incendios se pueden propagar sobre líquidos cuyas temperaturas estén considerablemente por debajo de sus puntos de inflamación. En tales casos, la fuente de ignición o el incendio mismo calientan localmente la superficie del líquido de manera que su temperatura se eleva por encima del punto de combustión. Las llamas se pueden extender entonces sobre la superficie ayudadas por las corrientes generadas por la tensión superficial.

## 2.4 Etapas del Fuego

En un incendio se pueden identificar cuatro etapas:

### 2.4.1 Ignición

La primera etapa de un fuego es la ignición. Cuando el oxígeno y el combustible están presentes en cantidades suficientes y con la proporción adecuada, la introducción de una fuente de ignición produce el inicio del proceso de combustión. La fuente de ignición es típicamente una fuente de



calor(completando el triángulo del fuego). El calor generado por la ignición se puede dividir en cuatro categorías[2]:

- Energía Química
- Energía Eléctrica
- Energía Mecánica
- Energía Nuclear

▪ **Energía Química:** La energía química es una forma de energía potencial. La energía térmica es la energía generada durante una reacción química. Un gran ejemplo de energía química es cuando un tubo de dinamita explota. La molécula de TNT es convertida en agua, dióxido de carbono y monóxido de carbono. Muchos lazos se rompen y la energía que mantenía estos lazos unidos provee la energía necesaria para crear los nuevos lazos. Toda la energía que sobra es lo que vemos en forma de explosión.

▪ **Energía Eléctrica:** la energía térmica se produce cuando una corriente fluye a través de un conductor. Esto incluye el calor proveniente de circuitos eléctricos (resistencia, arcos y otros), energía estática y relámpagos. Las fuentes de calor pueden ser:

- Calentamiento por resistencia eléctrica.
- Calentamiento dieléctrico
- Calentamiento por inducción
- Calentamiento por fuga de corriente eléctrica

▪ **Energía Mecánica:** El calor generado mecánicamente es responsable de un número importante de incendios todos los años. El calor por fricción es el causante de la mayoría de estos incendios, aunque hay unos pocos casos notables de ignición por la energía mecánica liberada por la compresión.

- Calor por fricción: por ejemplo, el calentamiento por fricción es el causado por la fricción de una correa que se resbala contra una polea.
- Chispas por fricción: incluyen chispas resultantes del impacto de dos superficies duras.



El **calentamiento espontáneo** también es una fuente común de ignición. El calentamiento espontáneo de un sólido es el resultado de una reacción química o biológica que produce calor en el material más rápido de lo que podría ser liberado. El calentamiento espontáneo puede ocurrir en trapos con aceite que quedan en tuberías de vapor, desperdicios de algodón sucio, capas de polvo sobre superficies calientes, materiales empapados en aceites y carbón y productos agrícolas almacenados en grandes pilas.

Generalmente, la ignición provocada de una mezcla de un gas o vapor y aire es afectada por la composición (ver tabla 2.2), presión ambiental y dimensiones del contenedor, lo mismo que por la naturaleza y energía de la fuente. Para una mezcla determinada de combustible y aire, hay una presión mínima por debajo de la cual no ocurre la ignición. A medida que aumenta la temperatura, se requiere menos y menos energía externa para incendiar la mezcla hasta que, a una temperatura suficientemente alta, la mezcla se incendia espontáneamente. Esta temperatura se conoce como temperatura de autoignición (o ignición espontánea) (“AIT”).

Tabla 2.2 Temperatura de auto-ignición versus composición aire/propano

% de Propano	Temperatura de Auto-ignición	
	°F	°C
En el aire		
1.50	1018	548
3.75	936	502
7.65	889	476

Fuente: NFPA, Manual de Protección Contra Incendios, página 22

#### 2.4.2 Propagación del Fuego

Para que un fuego se propague luego de la ignición se requiere de un balance positivo de calor y retroalimentación térmica. Cualquier incendio debe generar más calor del que pierde [2].

Mientras el fuego crece hay dos papeles que la retroalimentación de energía térmica debe cumplir. La primera es mantener la producción de gases combustibles en la superficie de quemado. La segunda es calentar el combustible que se encuentra alrededor hasta producir vapores que podrán seguir quemándose.

Para combatir un incendio, es importante conocer las diferentes formas de propagación del fuego; de esta forma, se podrá contener un incendio.

- **Propagación por Conducción:** La conducción de calor es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basado en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo (como en la figura 2.6) o entre diferentes cuerpos en contacto por medio de transferencia de energía cinética de las partículas[4]. Depende básicamente de la naturaleza del material y de su conductividad. Solo tiene incidencia en materiales sólidos. En un predio, este tipo de propagación es peligrosa ya que el incendio de una mercancía en un compartimiento puede propagarse a otra mercancía en un compartimiento distinto a través de las paredes.

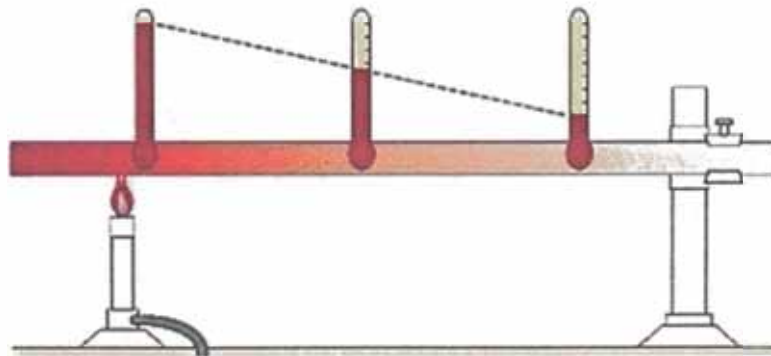


Figura 2.6 Transferencia de calor por conducción

- **Propagación con Convección:** es el proceso de transmisión de calor a través de movimientos del aire debidos a diferencia de densidad. El aire caliente pesa menos y; por lo tanto, se encontrará en los niveles más altos mientras que el aire frío, en los niveles más bajos. Esto puede provocar una rápida propagación

en sentido vertical, tanto de calor como de humo, pudiendo ser este último incluso más peligroso para la vida humana que el propio fuego.

La convección se caracteriza porque se produce por intermedio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. Se incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido o por medio de una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico (convección mecánica, forzada o asistida).

- **Propagación por Radiación:** a diferencia que en los casos anteriores, en la propagación por radiación no se necesita la presencia de materia, se realiza desde los cuerpos calientes por radiaciones electromagnéticas (ondas o partículas subatómicas). La no presencia de materia permite alcanzar grandes distancias en cualquier dirección y en línea recta desde el foco de emisión. El calor del sol es el ejemplo más significativo de radiación térmica. A diferencia de la conducción y convección, la radiación es la única que puede transferirse en el vacío[4].

#### 2.4.3 Incendio en estado estacionario – “SteadyStateBurning”

Cuando suficiente calor está siendo generado, el material alcanza un estado estacionario. En un cuarto o compartimiento, una condición conocida como flashover puede ocurrir al mismo tiempo [2]. El Flashover ocurre cuando todo el material combustible se ha calentado a su punto de ignición de tal forma que se enciende simultáneamente.

#### 2.4.4 Terminación o Extinción del Fuego

El incendio puede terminarse de dos formas: 1. Se ha acabado el combustible o 2. El fuego es combatido con medios extintores. Adicionalmente, algunos consideran un tercer método cuando el incendio ha usado todo el oxígeno disponible en un cuarto, extinguiéndose por sí solo. Esto constituiría un recinto hermético con una cantidad limitada de aire [2].

La terminación es una etapa inherente al proceso completo y es la última etapa; sin embargo, la extinción se puede aplicar en cualquier etapa.

## 2.5 Clasificación del Fuego según NFPA

A pesar que los elementos que componen el fuego son siempre los mismos; éste adquiere características substancialmente diferentes según el combustible que se quema [2].

Según la Asociación Nacional de Protección Contra el Fuego – NFPA los fuegos se clasifican de la siguiente forma:

- Fuego Clase A: son los producidos o generados por combustibles sólidos, tales como la madera, carbón, paja, tejido, etc.

Llamados fuegos secos o profundos, son incendios de sólidos normalmente de naturaleza orgánica, compuestos de carbono y que forman brasas.

- Fuego Clase B: Son incendios en los que intervienen líquidos combustibles o inflamables, gases inflamables y grasas o materiales similares. Por ejemplo: gasolina, alcohol, disolventes, pinturas, barnices, propano y butano.

- Fuego Clase C: Son fuegos que involucran equipo eléctrico energizado, como motores eléctricos, transformadores y aparatos eléctricos. Elimine la corriente eléctrica y el fuego podrá tratarse como clase A o B.

- Fuego Clase D: Los fuegos clase D son los que se producen en polvos o virutas de aleaciones de metales livianos como aluminio, magnesio, etc.

## 2.6 Líquidos Inflamables

Un líquido inflamable siempre está cubierto con una capa de sus vapores. Cuando el vapor entra en contacto con una cantidad adecuada de oxígeno y una fuente de ignición, es éste vapor el que se quema mas no el líquido.

Cuando se trata con líquidos inflamables una de las propiedades críticas es el punto de inflamación. El punto de inflamación está referido a la temperatura mas baja a la cual el líquido emite suficiente cantidad de vapor para formar una mezcla inflamable con el aire [5]. El punto de inflamación varía con la presión y la cantidad de oxígeno del aire.

La tabla 2.3 muestra la clasificación de los líquidos inflamables y combustibles según La Asociación Nacional de Protección Contra el Fuego- “NFPA 30”.

Tabla 2.3 Clasificación de líquidos Inflamables y Combustibles de acuerdo a NFPA 30

Clase		Punto de Inflamación – copa cerrada	Punto de ebullición
Líquidos inflamables	IA	< 73°F (22.8°C)	<100°F (37.8°C)
	IB	< 73°F (22.8°C)	≥100°F (37.8°C)
	IC	≥ 73°F (22.8°C) < 100°F (37.8°C)	---
Líquidos Combustibles	II	≥ 100°F (37.8°C) < 140°F (60.0°C)	---
	IIIA	≥ 140°F (60.0°C) < 200°F (93.4°C)	---
	IIIC	≥ 200°F (93.4°C)	---

### 2.7 Incendio tipo Piscina– “Pool Fire”

Este caso, es el de un incendio producido en un área abierta (no presurizada).

- a. Líquido derramado en un área más o menos extensa
- b. Recipiente abierto (sin techo) o a presión atmosférica

En función de la radiación emitida, las áreas vecinas ante el desarrollo de uno de estos eventos pueden situarse dentro de los siguientes escenarios:

- Debajo de 12.5 KW/m<sup>2</sup>: No es de esperar que haya incendio en otros equipos, generados por el calor recibido.
- Entre 12.5 KW/m<sup>2</sup> y 37.5 KW/m<sup>2</sup> los efectos del fuego pueden ser controlados aplicando suficiente agua de refrigeración y evitando nuevos focos de incendio.

- Sobre los  $37.5 \text{ KW/m}^2$  no es posible evitar la generación de nuevos incendios en los equipos, aún cuando se utilice agua de refrigeración.

Debe tenerse en cuenta que en la realidad, por efectos del viento, la distribución de la intensidad del calor radiante no toma la forma de esfera, sino mas bien una parecida a una elipse con su eje principal en la dirección del viento.

Como no es posible predecir qué dirección tendrá el viento en el momento de ocurrir un siniestro, se toma la envolvente de las elipses mencionadas y ella forma los círculos indicados en las gráficas y que encierra totalmente las áreas comprometidas.



Figura 2.7 Incendio Tipo Piscina – Pool Fire

## 2.8 Incendio de ebullición desbordante – “Boilover” y “Slopover”

### 2.8.1 Rebosamiento por ebullición –BoilOver

El término BoilOver sirve para describir un fenómeno que puede producirse espontáneamente durante el incendio de un depósito abierto (ver figura 2.8) que contenga ciertos tipos de aceites minerales crudos. Así sucede; por ejemplo, cuando el techo del depósito ha sido volado por una explosión, generalmente causada por un rayo. Después de un largo período de combustión tranquila se produce un súbito rebosamiento o eyección de una parte de los crudos residuales que contiene el depósito, cuya causa es la ebullición del agua, que forma una



espuma de petróleo y vapor que se expande rápidamente. La espumación producida es consecuencia de la presencia de las tres condiciones siguientes, que deben existir simultáneamente para que tenga lugar dicho fenómeno [1].

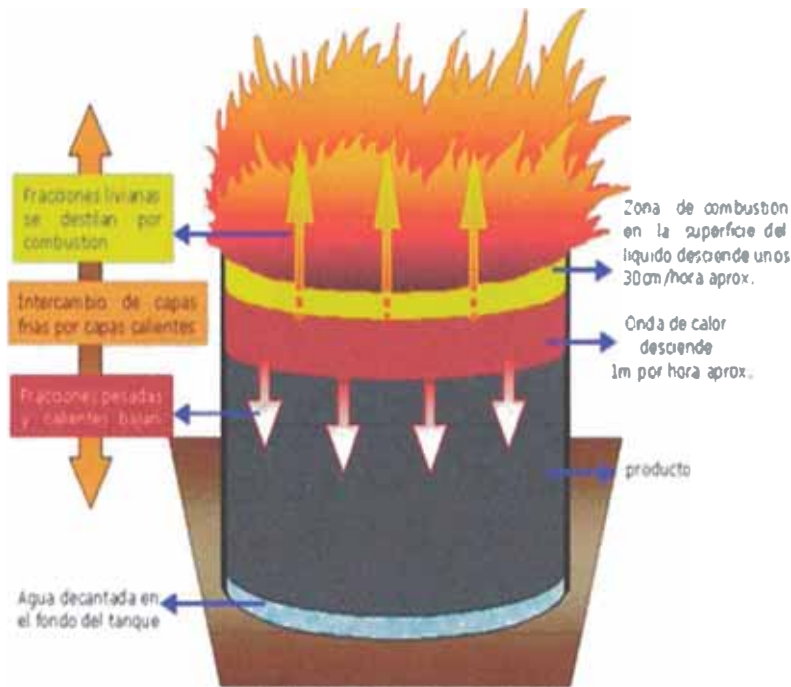


Figura 2.8 Incendio Tipo Piscina en la superficie del tanque

1. El depósito debe contener agua libre o una emulsión de agua y aceite mineral en el fondo. Esta circunstancia es normal en los depósitos de aceite crudo.
2. El aceite mineral debe contener componentes cuyos puntos de ebullición sean muy dispares, de modo que cuando los mas ligeros hayan desaparecido por destilación y combustión, el residuo superficial, a una temperatura de 300°F (149° C) o más, sea más denso que el aceite en que sobrenada. Naturalmente este residuo se hunde por debajo de la superficie y forma una capa (ver figura 2.9), cuyo espesor aumenta gradualmente, que desciende a una velocidad bastante mayor que la velocidad de regresión de la superficie en combustión. Así, se inicia la llamada "onda de calor", resultando del asentamiento local de una parte del aceite superficial caliente hasta que alcanza el aceite más frío que está abajo.

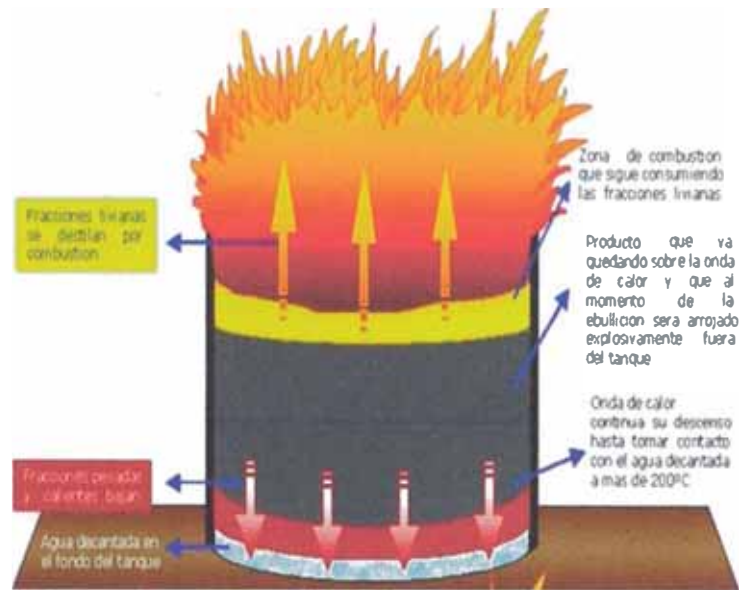


Figura 2.9 Transferencia del Calor por Conducción y Convección

3. El aceite debe contener una cantidad suficiente de productos pesados para que se pueda formar una espuma persistente de aceite y vapor (ver figura 2.10)

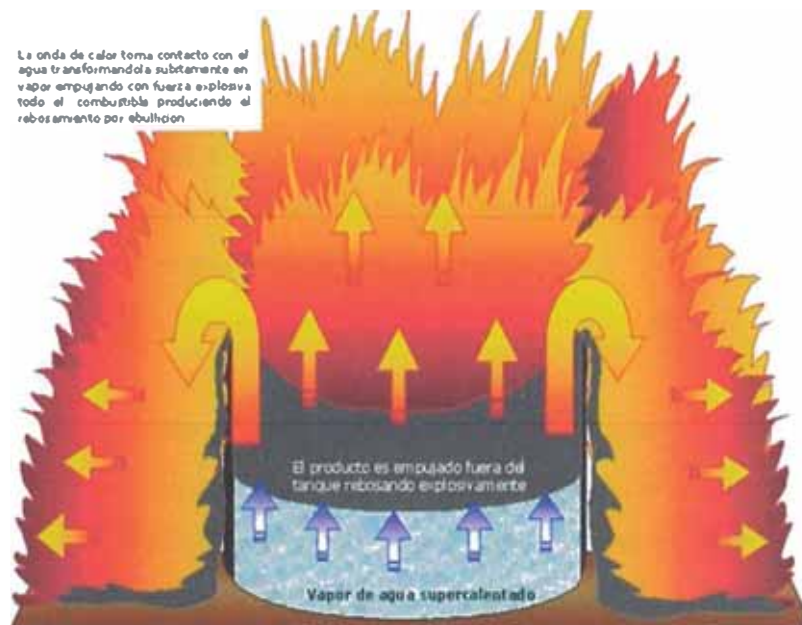


Figura 2.10 Efecto de Ebullición Desbordante – BoilOver

Un petróleo crudo que incorpore fracciones muy livianas como la gasolina o nafta podría tener características conducentes a un boilover. Una curva de

destilación que indique claramente mezcla de fracciones muy livianas y pesadas puede ser un indicio de tendencia al boilover.

#### 2.8.2 Rebosamiento Superficial – SlopOver

Este derrame puede producirse cuando se aplica un chorro de agua a la superficie caliente del aceite incendiado, siempre y cuando el aceite sea viscoso y su temperatura supere la del punto de ebullición del agua. Puesto que en este fenómeno solamente participa el aceite superficial, el suceso es de importancia relativa.

### 2.9 Explosiones

Una explosión puede considerarse como la liberación violenta de un gas a alta presión. Este efecto puede ser causado por cambios químicos o físicos y la severidad está en función de la velocidad y la cantidad de energía liberada [1]. A continuación se describe algunos tipos de explosión:

#### 2.9.1 Deflagración

Puede ser definida como un incendio en el cual la velocidad de propagación de la llama es menor a la velocidad del sonido (335 m/s). La deflagración es una explosión en la cual la sobrepresión es causada por la combustión de gases inflamables o polvos que se encuentran dispersos.

#### 2.9.2 Detonación

Una detonación es una explosión en la que la velocidad de propagación de la llama es mayor a la velocidad del sonido. En una detonación el frente de llama viaja como una onda de choque seguida de una onda de combustión que libera energía para mantener la onda de choque. Las detonaciones ocurren solo en gases inflamables.

#### 2.9.3 Explosión por la expansión del vapor de un líquido en ebullición

También conocida como BLEVE por sus siglas en inglés (BoilingLiquidExpandingVaporExplosion) Como su definición indica, se precisa de un

líquido confinado en un recipiente, que sea capaz de emitir vapores al calentarse. Será el caso de todos los gases licuados, independientemente de que sean inflamables o no, los cuales en su almacenamiento dentro de un tanque cerrado, siempre están a una temperatura superior a la de su punto de ebullición, y a una presión superior a su presión de vapor a temperatura ambiente. Si por cualquier razón, se produce una bajada de presión de la fase gaseosa, el líquido empezará a evaporarse para así conseguir su equilibrio. De igual manera, si calentamos la fase líquida, haremos aumentar la presión de vapor del líquido.

Teniendo en cuenta estos parámetros, para que se produzca el BLEVE, son necesarias dos condiciones:

- 1.- Que la fase líquida esté sobrecalentada.
- 2.- Que se produzca una bajada brusca de presión en la fase gas.

En el caso de los gases licuados, se puede decir que al aumentar la presión para almacenarlos, se aumenta su punto de ebullición. Si se reduce la presión a presión atmosférica, toda la fase líquida pasará a vapor a temperatura ambiente. Por tanto sería un líquido "sobrecalentado".

Si a estos gases licuados se les aplica calor, aumentará la presión de la fase gaseosa, lo cual se traduce en un aumento de la presión del líquido; como consecuencia, el punto de ebullición de la fase líquida aumentará. Este "círculo" se mantendrá estable siempre que el recipiente sea capaz de mantener su estanqueidad o su resistencia mecánica.

Para que se produzca la BLEVE, es necesaria una bajada brusca de la presión del recipiente. Esta bajada brusca se puede dar de diferentes maneras: fallo de la resistencia mecánica del recipiente por un golpe, fallo de resistencia mecánica por calentamiento excesivo del metal, o incluso por la apertura de una válvula sobredimensionada que libere incontroladamente una cantidad excesiva de presión.



Figura 2.11 Explosión por la expansión de un líquido en ebullición - BLEVE

### **III. ANALISIS DE RIESGOS DE INCENDIO Y EXPLOSION EN UNA PLANTA DE ALMACENAMIENTO DE LIQUIDOS INFLAMABLES**

#### **3.1 Conceptos**

##### **3.1.1 Riesgo**

El riesgo es un evento incierto, indeseable, imprevisto e involuntario. El riesgo se puede definir como “la incertidumbre” de que un suceso pueda ocurrir y causar pérdidas y/o daños.

Para efectos del seguro, sólo se pueden asegurar los “riesgos puros”, donde existe la probabilidad de pérdida pero no de ganancia, por ejemplo, si una fábrica se incendia y ocurre un daño, el propietario no se beneficia, por el contrario tiene pérdidas.

##### **3.1.2 Área de Fuego**

Se define como área de fuego a la edificación o conjunto de edificaciones dentro de un predio que serían afectadas por el calor radiante producto de un incendio.

##### **3.1.3 Evaluación del riesgo**

Para poder evaluar un riesgo, lo primero que se hace es inspeccionar la planta para poder identificar los focos de daño. Es por eso que es necesario conocer la ubicación de la planta, los procesos que se realizan, el tipo de materiales almacenados y el tipo de actividad que desarrollan los vecinos. Sólo el conocimiento pleno de esta información permitirá poder plantear situaciones potenciales de riesgos internos que enfrentará la planta de almacenamiento de líquidos inflamables.

#### **3.2 Análisis de riesgo**

##### **3.2.1 Presentación del riesgo**

La planta de almacenamiento de líquidos inflamables cuenta con dos tipos de almacenamiento: a granel y cilindros. Para el almacenamiento a granel (ver figura

3.1) existen tanques horizontales y verticales distribuidos en 4 diques. Los tanques del dique IA cuenta con una capacidad total de 97069 galones; los tanques del dique IB, 131080 galones; los tanques del dique IC, 14935 galones y los tanques del dique II, 312049 galones. En conjunto los 4 diques tienen una capacidad de 555,133 galones.



Figura 3.1 Almacén a granel – tanques

Por otro lado, también existe un almacén de cilindros (ver figura 3.2) de 55 galones capaz de almacenar 11,000 unidades que resulta en una capacidad de 605,000 galones. La tabla 3.1 muestra la distribución de los tanques por Diques.



Figura 3.2 Almacén de cilindros

Tabla 3.1 Almacenamiento de líquidos inflamables

Dique	N° Tanque	Tipo de Tanque	Capacidad Nominal (Galones)	Total por bloque, Galones
IA	1	Horizontal	24002	<b>97069</b>
	2	Horizontal	17001	
	3	Horizontal	12001	
	4	Vertical	10211	
	5	Vertical	12249	
	6	Vertical	21605	
IB	7	Vertical	10264	<b>131080</b>
	8	Vertical	15749	
	9	Vertical	15744	
	10	Vertical	15823	
	11	Vertical	15756	
	12	Vertical	10343	
	13	Vertical	15807	
	14	Vertical	15744	
	15	Vertical	15850	
IC	16	Horizontal	14935	<b>14935</b>
II	17	Vertical	312049	<b>312049</b>
Almacén de cilindros		Cilindros x 55 galones	605000	<b>605000</b>

Adicionalmente, en esta planta también están ubicadas las oficinas, casa de fuerza, área de pintado y laboratorio de acuerdo a figura 3.3.



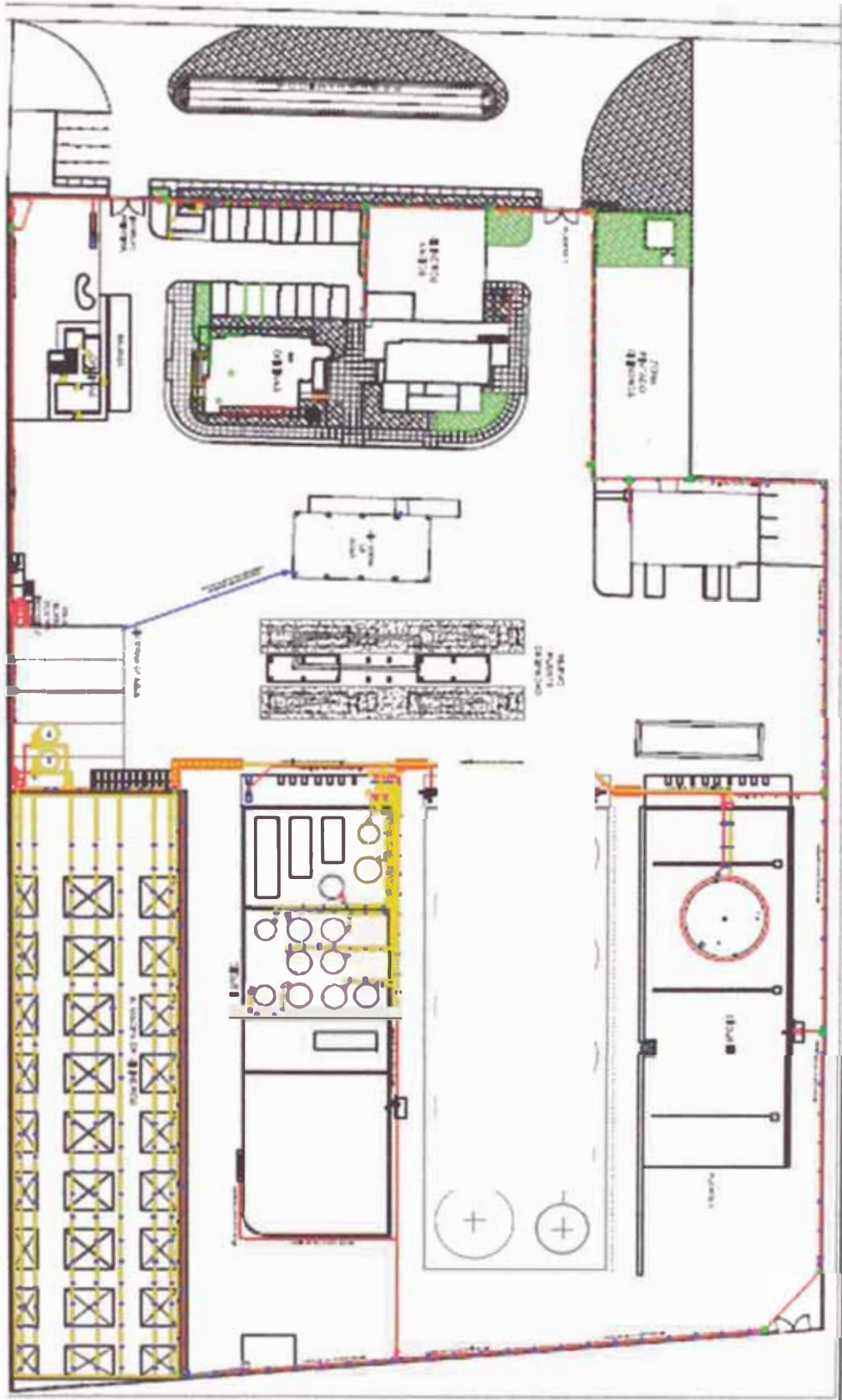


Figura 3.3 Plano de Planta de Almacenamiento de Líquidos Inflamables

En la tabla 3.2 se muestran el listado de los principales productos almacenados; así como, sus puntos de inflamación y peligros asociados.

Tabla 3.2 Punto de Inflamación de líquidos inflamables a 1 atmósfera

Producto	Punto de Inflamación, °C	Densidad, g/cm <sup>3</sup>	Peligros asociados a las sustancias
Hexano	-22	0.66	Forman mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente
Metanol	11	0.79	
Metil Etil Cetona	-9	0.81	
Metil Isobutil Cetona	-4	0.80	
n – Propanol	15.7	0.80	
n - Propil Acetato	14	0.89	
Tolueno	4	0.87	
Vinil Acetato monómero	-8	0.93	
o –Xileno	32	0.87	
Acetato de Etilo	-4.4	0.92	Forma mezclas inflamables y explosivas a temperatura ambiente.
Butanol	37	0.81	

Fuente: NFPA, Hojas de Seguridad de materiales peligrosos, 1989 (Traducción del Inglés al Español).

El valor declarado de una planta es el valor de tasación real o valor comercial vigente. La tabla 3.3 muestra los valores para la planta:

Tabla 3.3 Valores Declarados de Planta de Almacenamiento de Líquidos Inflamables

Edificios y Contenido	US\$ 2,260,000
Equipos y Maquinaria	US\$ 1,190,000
Existencias	US\$ 5,720,000
Lucro Cesante	US\$ 3,600,000

Total	US\$ 12,770,000
-------	-----------------

### 3.2.2 Lucha Contra Incendios

La planta de almacenamiento cuenta con distintas protecciones contra incendios. Dichas protecciones dependen de la disposición de almacenamiento ya sean tanques o cilindros. A continuación se muestra un resumen de las protecciones.

#### Tanques Verticales y Horizontales

- Fueron construidos respetando las normas API, ASTM y NFPA.
- Existen cuatro bloques divididos por muros de contención: Dique IA, Dique IB, Dique IC y Dique II.
- Las bombas de cada tanque se encuentran fuera de los muros de contención.
- Las instalaciones eléctricas son del tipo Industrial.
- El mantenimiento consiste en pintado y calibración cada tres años.
- Cuenta con Nitrógeno gaseoso para limpieza por cambio de producto.
- Sólo el tanque vertical 17 ubicado en Dique II cuenta con sistema de enfriamiento por medio de rociadores en la parte superior.

#### Almacén de cilindros:

- No hay instalaciones eléctricas
- Existe una Pendiente de 1%: en caso de derrame los líquidos drenan a un depósito subterráneo de capacidad 3000galones.
- Sistema de rociadores con espuma Ultraguard AR-A-FFF 3%

#### Bomba Contra Incendios

La bomba principal es una motobomba listada de 1,500gpm a una presión de 150psi (ver figura 3.4); esta bomba cumple con las normas NFPA 20 y NFPA 25.



Figura 3.4 Bomba Contra Incendios

#### Red contra Incendios

El sistema contra incendio cuenta con una línea de descarga de 8 pulgadas y sirve para abastecer un hidrante y el sistema de rociadores. La red fue diseñada cumpliendo con los estándares de la NFPA 13 y NFPA 24. Adicionalmente, cuentan con 4 monitores capaces de abastecer 1250gpm y con gabinetes de hidrantes, con salidas simples, equipadas con manga y pitón de diámetro 1 ½ pulgadas y salidas de diámetro 2 ½ pulgadas para bomberos, además de salidas en Te.

Tienen una reserva de espuma AR-A-FFF 3% dividido en dos tanques de 1000 y 600 galones respectivamente. El tanque de 1000 galones está destinado a las cámaras de los tanques verticales según NFPA11 y el tanque de 600 galones, a los rociadores de la nave de cilindros.

#### Suministro de Agua

La planta cuenta con un sistema contra incendios con una reserva de 1,400m<sup>3</sup> de agua. El suministro de agua cumple con la NFPA 22.

#### 3.2.3 Identificación de escenarios de riesgo de incendio y/o explosión

Los tipos de incendio y/o explosión son diversos y están estrictamente ligados al tipo de actividad que realice una empresa; por tal motivo, a continuación se citan los principales peligros a los que está expuesta una planta de almacén de líquidos inflamables.

- Incendio tipo Piscina – “Pool Fire”
- Explosión por la expansión del vapor de un líquido en ebullición - “BLEVE”

A continuación, se precisa bajo qué circunstancias se presentaría alguno de los accidentes mencionados en líneas anteriores:

#### Incendio en Dique IB

Al fallar el indicador de nivel - radar de un tanque puede ocurrir un derrame de líquido dentro del dique. Si este líquido entrara en contacto con alguna instalación eléctrica en mal estado y/o una superficie caliente podría provocar un fuego tipo “piscina” (Pool fire). Los efectos de este fuego son humos sofocantes, ondas de sobrepresión y calor (generalmente radiante). El calor radiante de este fuego podría alcanzar las zonas IA, IC e incluso el almacén de cilindros. El riesgo se agrava en el almacén de cilindros ya que el calor provocaría el calentamiento del líquido dentro de los cilindros hasta su ebullición; consecuentemente, la presión dentro de los cilindros aumenta y como consecuencia se produciría el fenómeno conocido por sus términos en inglés como BLEVE – expansión del vapor de un líquido en ebullición.

#### Incendio en Dique II

De la misma forma que en el dique IB, al fallar el radar de uno de los tanques podría ocurrir un derrame de líquido dentro del dique. Si este líquido entrara en contacto con alguna instalación eléctrica en mal estado y/o una superficie caliente se iniciaría un fuego tipo “piscina” (pool fire). El calor radiante de este fuego no alcanza ninguna zona contigua de líquido inflamable y no habría efecto dominó.

#### Incendio durante el trasvase de Líquidos Inflamables

La planta cuenta con una estación de bombeo de líquidos. Durante el trasvase, por alguna de las mangueras podría derramarse o fugarse líquidos inflamables que de encontrar una instalación eléctrica en mal estado y/o una superficie caliente desencadenarían un incendio. Este incendio podría alcanzar la

zona de productos a granel, y; de ser así, podría ocurrir adicionalmente una serie de BLEVES en el almacén de cilindros.

#### Incendio en el Área de pintado

Antes de ser usados, los cilindros se preparan en el área de pintado. La pintura utilizada se pulveriza y podría formar una mezcla inflamable con el aire que en caso de encontrarse con una superficie caliente y/o una instalación eléctrica en mal estado originaría un incendio. Ya que el área de pintado está ubicada a más de 10 metros del tanque de líquido inflamable más cercano, los efectos de este incendio serán limitados.

#### Incendio en el Almacén de Cilindros

En caso de fuga por rotura del cilindro, los vapores del líquido derramado podrían formar con el aire una mezcla inflamable. Esta mezcla podría entrar en contacto con una fuente de ignición causando un incendio tipo piscina - "Pool Fire". El calor radiante afectará a los demás cilindros agravando el riesgo. Como consecuencia, ocurrirán una serie de BLEVES (explosión). De los BLEVES, pueden desprenderse proyectiles cuyos daños no pueden ser estimados.

#### 3.2.4 Método de Pool Fire: Zonas de Fuego y Pérdida Máxima Estimada

El método de Pool Fire presentado por Oil International Insurers permite estimar el radio de daño generado por el calor radiante de un incendio de este tipo. Una vez que se conoce el radio de daño se pueden calcular las pérdidas materiales.

La tabla 3.4 muestra un listado de cantidades de líquido inflamable (toneladas) con el radio de daño por calor radiante generado por esta masa.

Tabla 3.4 Masa de líquido inflamable versus radio de daño

<b>Líquido inflamable, t</b>	<b>Radio de daño, metros</b>
1	3
5	7
10	9
20	12
30	14
40	16
50	17
60	19
70	20
80	21
90	22
100	22
120	24
140	26
160	27
180	28
200	29
250	32
300	34
350	36
400	38
450	40
500	41

Fuente: Oil International Insurers, página 32

Para bloques que almacenen cantidades mayores a 500 toneladas de líquido inflamable, se toman los datos de la tabla y se construye una curva que permitirá calcular el radio de daño por calor radiante tal como se muestra en la figura 3.5.

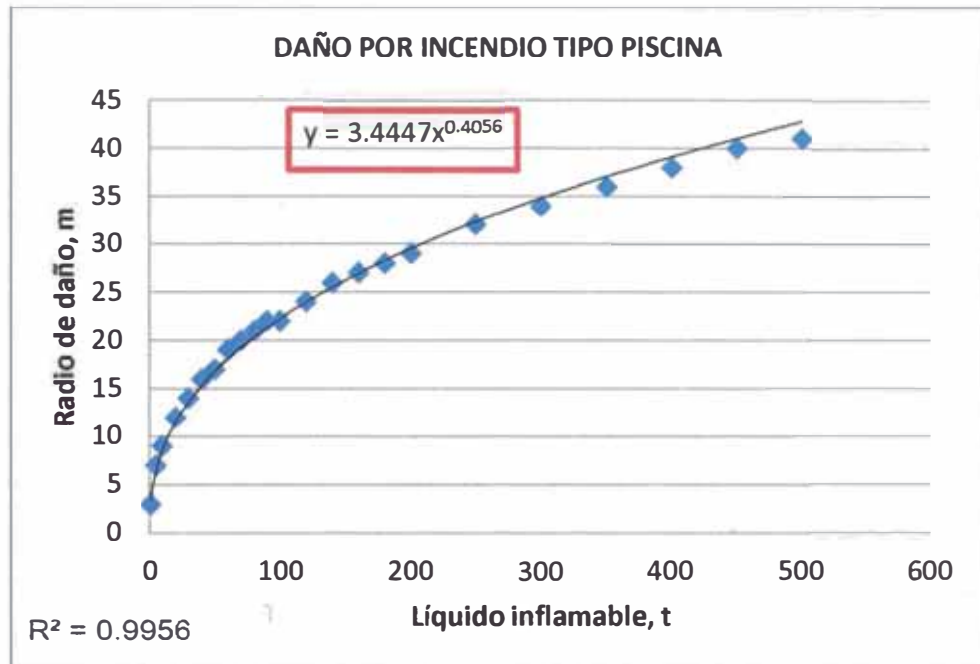


Figura3.5 Relación exponencial de masa de líquido inflamable y radio de daño por calor radiante

Dónde:

y: Radio de daño estimado, metros

x: masa de líquidos inflamables, toneladas (t)

Para calcular el radio de daño, los datos de volumen de líquido inflamable presentados en la sección 3.2.1 (ver tabla 3.1) se convierten a masa.

Para la conversión a masa solo se necesita la densidad. Ya que no se cuenta con el detalle de los productos almacenados por tanque y para fines prácticos se asume un promedio de la densidad de los líquidos almacenados que corresponde a  $0.85 \text{ g/cm}^3$ .

Luego, estas cantidades son reemplazadas en la ecuación presentada en la figura 3.5 y se obtienen los radios de daño por calor radiante correspondiente a cada Dique.



Tabla 3.5 Radio de daño por Incendio Tipo Piscina

Dique	Total por bloque, Galones	Capacidad Nominal, t	Radio de daño, m $r = 3.4447m^{0.4056}$
IA	97069	313	35.4
IB	131080	422	40.0
IC	14935	48	16.6
II	312049	1004	56.9

Para conocer la zona real afectada en planta y sus consecuencias, se deben verificar los trazos en un plano a escala cumpliendo los siguientes pasos:

1. Ubicar el punto medio de la Zona / Dique seleccionado.
2. Con la ecuación, reemplazando el dato de masa de líquido inflamable se calcula el radio. Trazar este radio,  $r$ , tomando como punto inicial el punto medio del bloque.
3. Dibujar una circunferencia de radio,  $r$

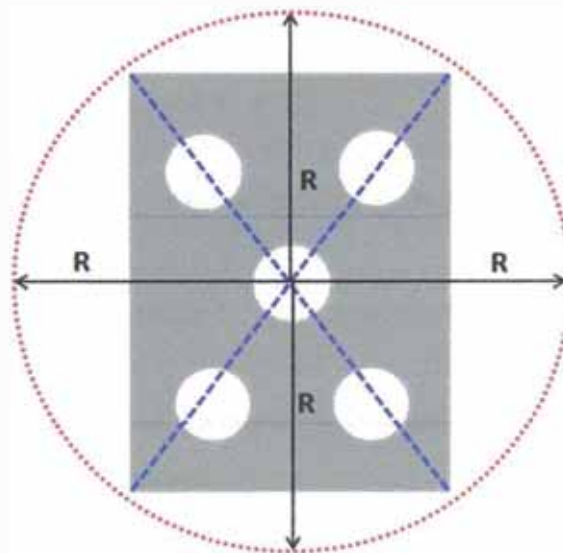


Figura3.6 Zona afectada por calor radiante de Incendio Tipo Piscina

Siguiendo el método de Pool Fire, las zonas afectadas por el calor radiante de cada Dique se muestran a continuación:

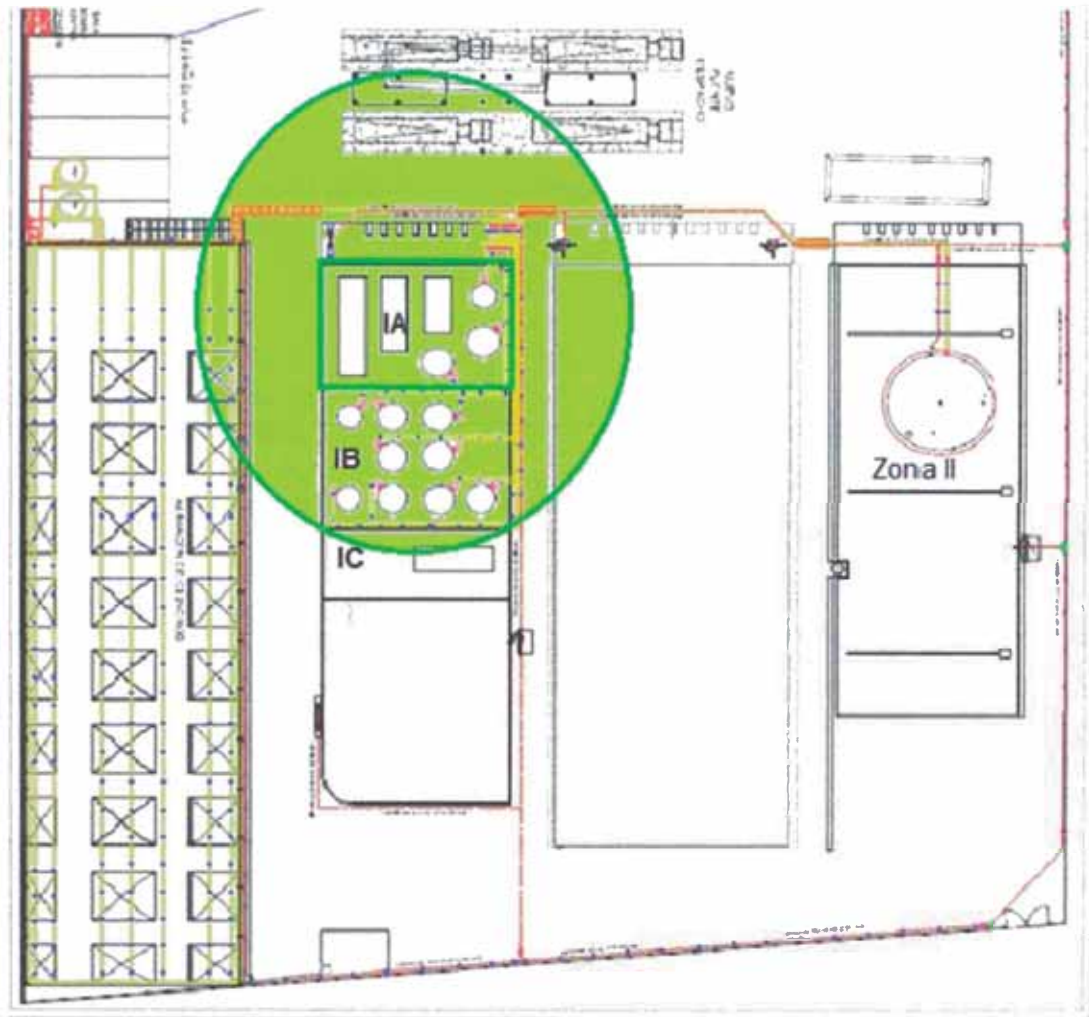


Figura 3.7 Zona afectada por calor radiante de Incendio Tipo Piscina en Dique IA

Como se observa en la figura 3.7, el incendio tipo Piscina iniciado en el Dique IA afecta totalmente el Dique IB y parte del Dique IC; adicionalmente, el riesgo se agrava con el calor radiante que llega a la zona de cilindros ya que podría ocasionar una serie de BLEVES en los cilindros.

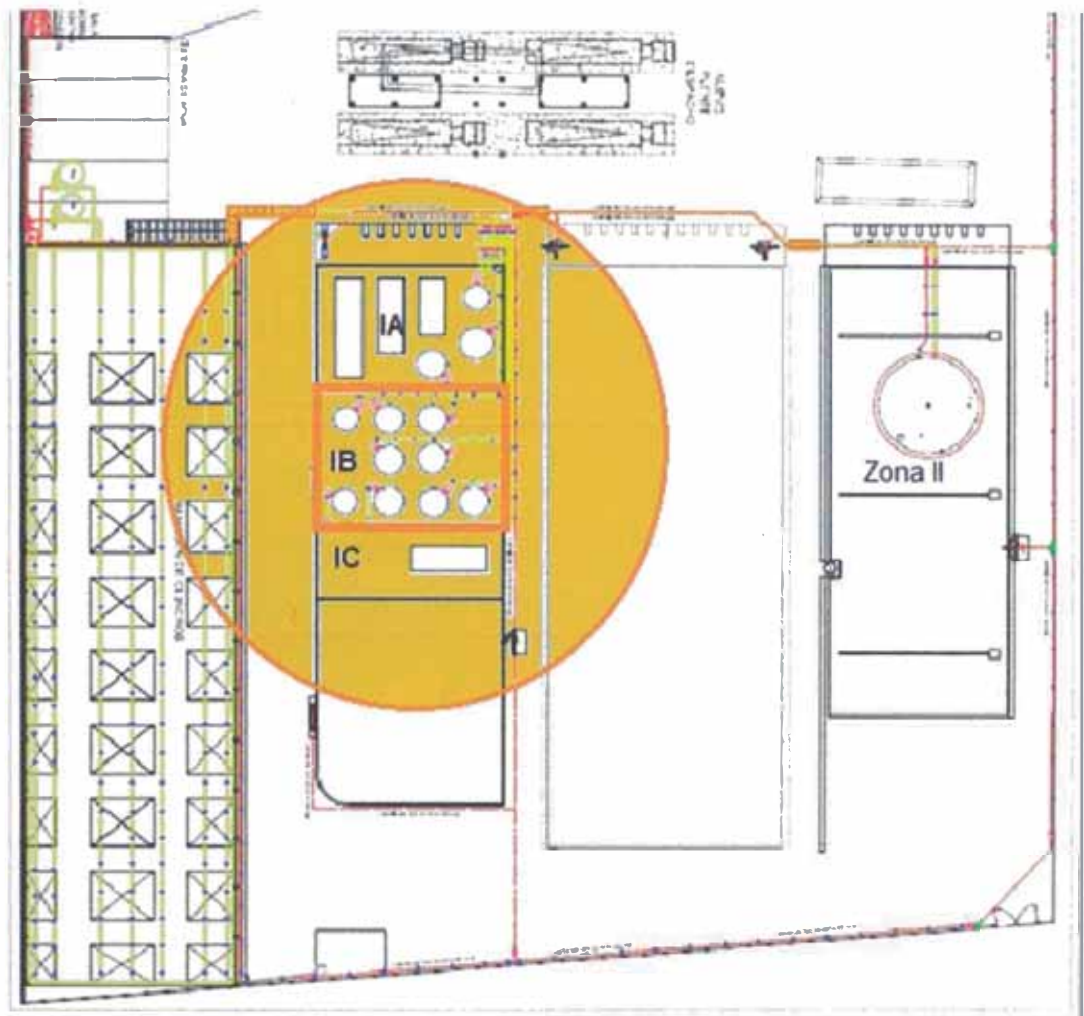


Figura 3.8 Zona afectada por calor radiante de Incendio Tipo Piscina en Dique IB

Como se observa en la figura 3.8, el incendio tipo Piscina iniciado en el Dique IB afecta totalmente los Diques IA y IC; adicionalmente, el riesgo se agrava con el calor radiante que llega a la zona de cilindros ya que podría ocasionar una serie de BLEVES en los cilindros.

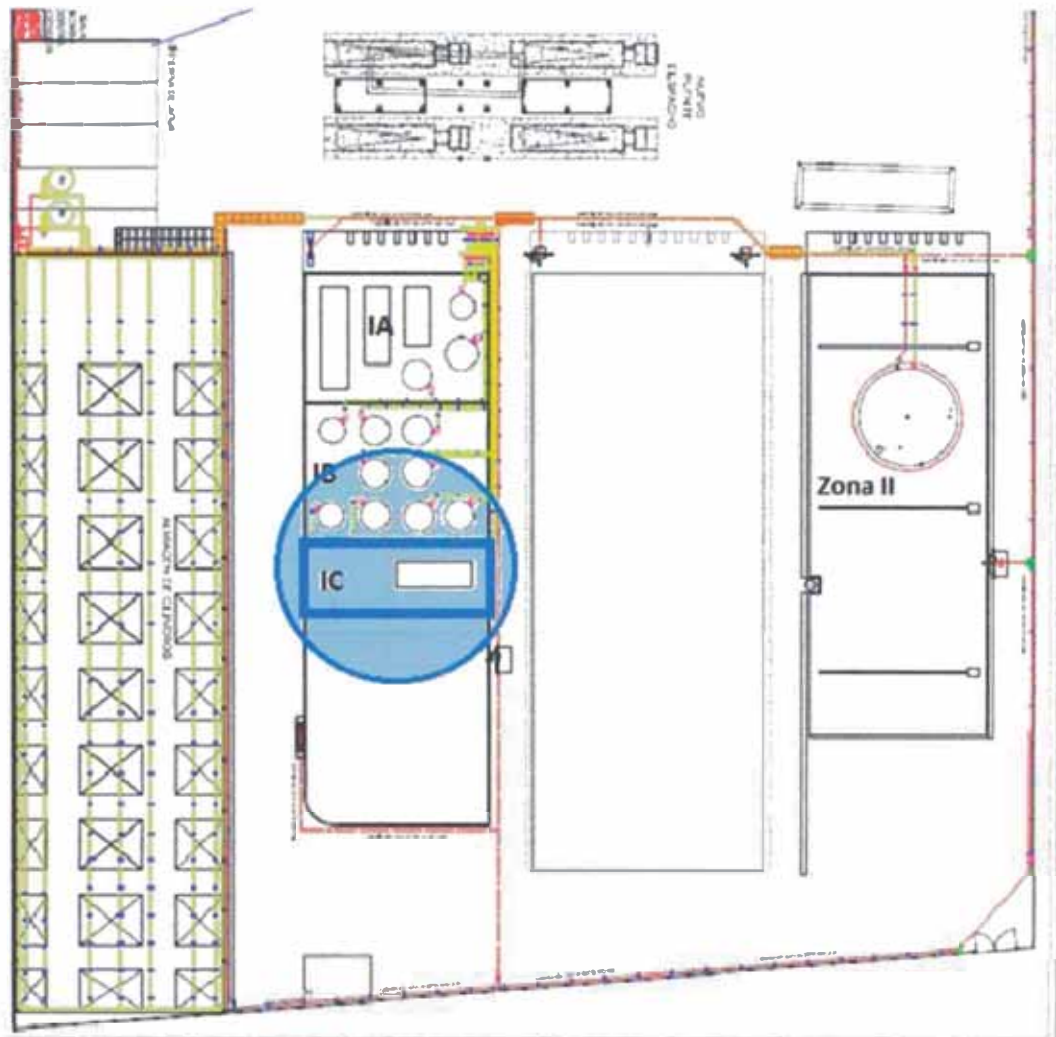


Figura 3.9 Zona afectada por calor radiante de Incendio Tipo Piscina en Dique IC

Como se observa en la figura 3.9, este efecto es más leve que los anteriores ya que el incendio tipo Piscina iniciado en el Dique IC afecta únicamente al Dique IB.

Las figuras 3.7 y 3.8 muestran que cualquier evento que se inicie en las zonas I y II afectaría por completo la zona comprendida desde el Dique IA hasta IC e incluso el almacén de cilindros; por tal motivo, se dice que ésta área forma *un área de fuego*.

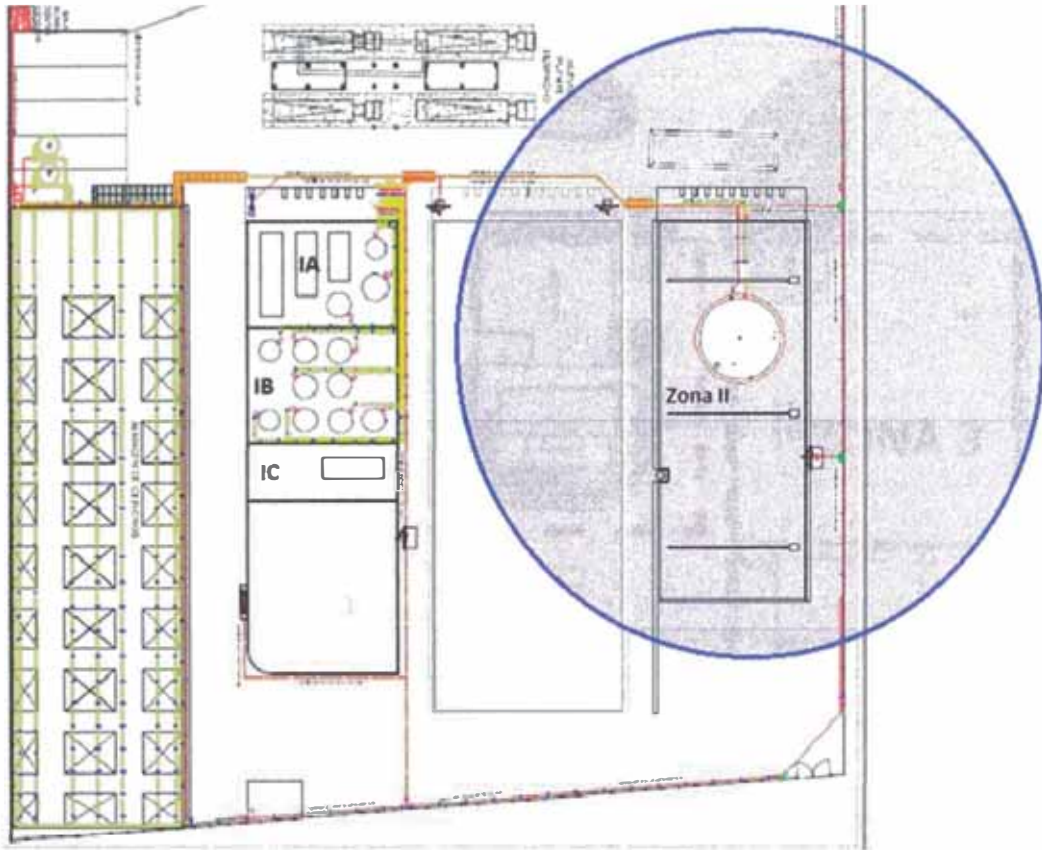


Figura3.10 Zona afectada por calor radiante de Incendio Tipo Piscina en Dique II

La figura 3.10 muestra que el evento de Incendio Tipo Piscina iniciado en la Zona II no afectaría otros bienes dentro del mismo riesgo conformando por sí sola *un área de fuego*.

De acuerdo a lo descrito en las gráficas anteriores, la distribución de áreas de fuego es de la siguiente forma:

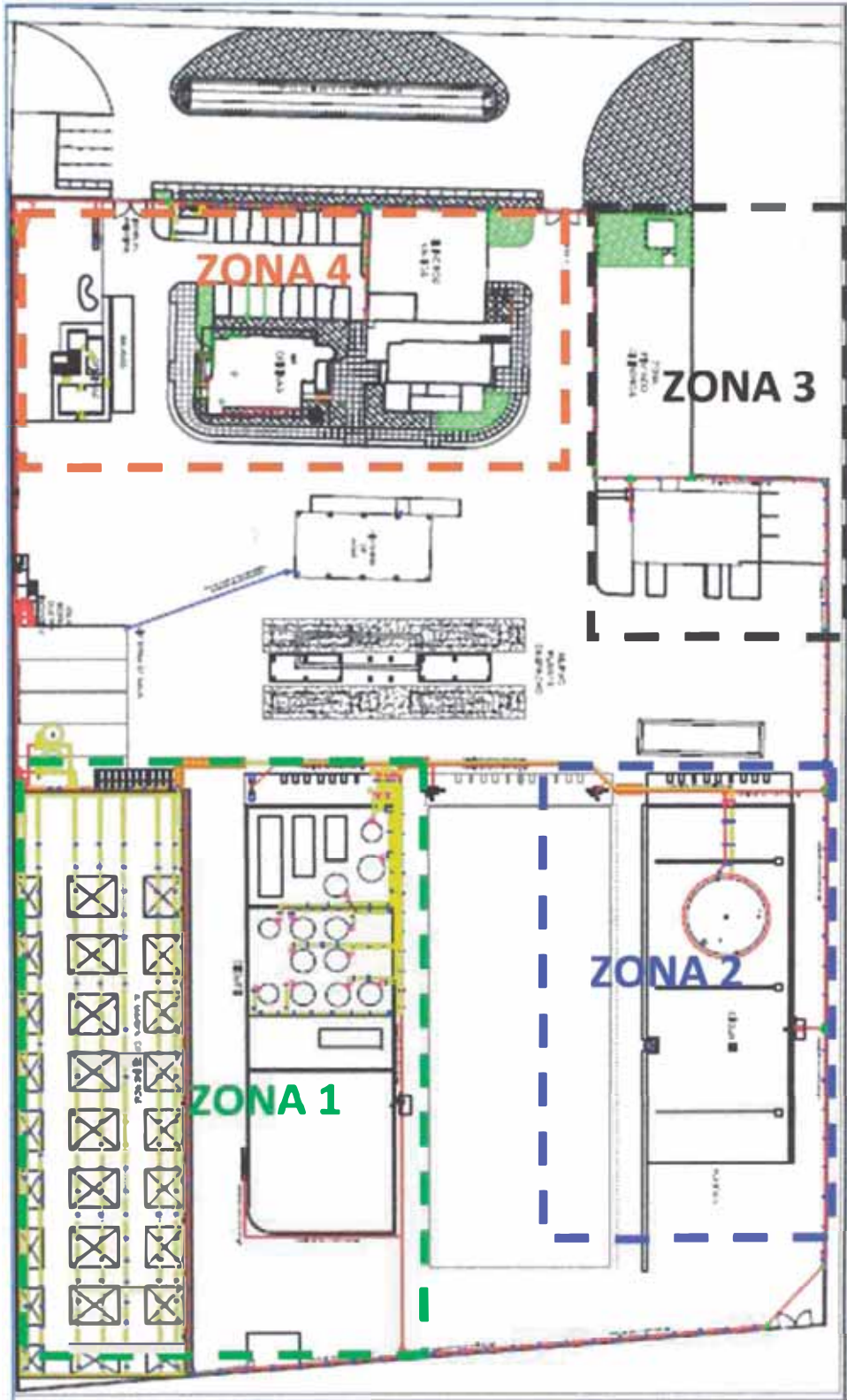


Figura 3.11 Determinación de áreas de Fuego

Una vez que se conocen las zonas afectadas por el calor radiante, se puede estimar la pérdida material para cada caso. Sin embargo, los valores declarados mostrados en la tabla 3.3 son los valores totales de la planta y necesitan ser desglosados. Para cuestiones prácticas, los valores se desglosan de forma proporcional a existencias. Por ejemplo, para el Dique IA, los valores son los siguientes:

- Edificios y contenido	\$ 1'582,000
- Equipos y Maquinaria	\$ 416,500
- Existencias	\$ 1'198,518

Tabla 3.6 Pérdida Máxima Estimada

Principales escenarios	Daño Material	Lucro Cesante	Total
Incendio en Zona IB	\$ 6,400,000	\$ 2,700,000	\$ 9,100,000
Incendio - Almacén de cilindros	\$ 6,400,000	\$ 2,700,000	\$ 9,100,000
Incendio - Traspase de líquidos	\$ 6,400,000	\$ 2,700,000	\$ 9,100,000
Incendio en Zona II	\$ 1,950,000	\$ 2,700,000	\$ 4,650,000
Incendio – Area de pintado	\$ 200,000	--	\$ 200,000

Los valores para los escenarios “Incendio en Zona IB”, “Incendio en almacén de cilindros” e “Incendio por traspase de líquidos presentan el mismo monto de pérdida ya que afectan la totalidad de la Zona I.

#### IV. CONCLUSIONES

- Los principales escenarios de riesgo a los que está expuesta la planta de almacenamiento de líquidos inflamables son: incendio tipo piscina en Dique I y Dique II, incendio en área de pintado, explosión por la expansión del vapor de un líquido en ebullición - BLEVE en almacén de cilindros e incendio durante el trasvase de líquidos.
  
- De acuerdo al Método Pool Fire, existen cuatro áreas de fuego que son:
  - Zona de Diques I y almacén de cilindros.  
Dique II
  - Taller de pinturas, casa de fuerza y laboratorio
  - Oficinas
  
- Las pérdidas estimadas por los sucesos de mayor riesgo son las siguientes:
  - Incendio en Dique IB: Se estima un daño material de US\$ 6,400,000 y un lucro cesante por US\$ 2,700,000.
  - Incendio Dique II: Se estima un daño material de US\$ 1,950,000 y un lucro cesante por US\$ 2,700,000.
  - Incendio durante el trasvase de productos químicos: Daño material por US\$ 6,400,000 y un lucro cesante de US\$ 2,700,000.
  - Incendio en almacén de cilindros: Se estima un daño material de US\$ 6,400,000 y lucro cesante por US\$ 2,700,000.



## V. BIBLIOGRAFIA

1. Asociación Nacional de Protección contra el Fuego, "Manual de Protección contra Incendios", Quinta Edición en Español, Volumen I, Editorial Mapfre, 2008.
2. Zurich, "Curso Básico Internacional de Protección Contra el Fuego", 2013 (Traducción del Inglés al Español).
3. International Oil Insurers, "Pérdida Máxima Estimada por Incendio y/o Explosión", Cuarta Edición, Noviembre 1992 (Traducción del Inglés al Español).
4. Kenneth Wark Jr., Donald E. Richards, "Termodinámica", Sexta Edición, Editorial McGraw - Hill Inc., Madrid, 2001.
5. Asociación Nacional de Protección contra el Fuego, "Código de Líquidos Inflamables y Combustibles - NFPA 30", 2003 (Traducción del Inglés al Español).
6. Asociación Nacional de Protección contra el Fuego, "Hojas de Seguridad de materiales peligrosos", 1989 (Traducción del Inglés al Español).
7. Instituto de Formación Bancaria, "Curso Básico de Seguros Intensivo", Versión Ejecutiva 38 horas, 2012.

## VI. GLOSARIO

### 6.1 Terminología Básica de Seguros

- **Seguro:** Es un sistema de protección del hombre y de su patrimonio frente a diversos hechos que amenazan su integridad, su vida, su interés y su propiedad. El seguro garantiza el resarcimiento de un capital para reparar o cubrir la pérdida o daño que aparezca en cualquier momento, recibiendo como contraprestación un precio por adelantado por el servicio de protección que ofrece. El seguro constituye una solución a la necesidad que sentimos de vernos protegidos ante la ocurrencia de hechos imprevistos, cuyas consecuencias superen nuestra capacidad individual para repararlas [7].

Según el D.S. No. 297-68-HC

*“El contrato mediante el cual la empresa aseguradora se obliga a indemnizar o a pagar, o a proveer a otra persona un beneficio específico o determinable, al producirse un suceso incierto previsto en el mismo”.*

- **Riesgo:** Es la posibilidad de pérdida o daño; es decir, la constante amenaza que pesa sobre el hombre y su patrimonio. El hombre está expuesto al riesgo desde la cuna hasta la tumba por enfermedad, accidente, muerte prematura. Los bienes igualmente pueden sufrir incendios, robo, merma, deterioro, toda suerte de riesgos o eventos dañinos.

En materia de seguros la palabra riesgo no se refiere siempre, necesariamente, a un suceso dañino o nocivo, sino exclusivamente al hecho aleatorio. Así, por ejemplo, son riesgos en la acepción común de la palabra incendio, de terremoto, de accidentes y otros.

El seguro tiene como fin primero y último proteger al hombre y a su patrimonio contra estos riesgos ofreciéndole indemnizarlo con una suma equitativa previamente convenida.

- **Interés asegurable:** Relación lícita de carácter económico respecto de un bien, que se convierte en asegurable cuando está amenazado por un peligro. En términos, comunes se diría que sólo se paga si hay un bien de por medio.

- **Póliza:** Es el contrato de seguros, mediante el cual una de las partes, el asegurador, se compromete a cubrir el riesgo que pesa sobre el asegurado, garantizándole, a cambio de recibir una prima el pago de una suma predeterminada o el valor de la pérdida al producirse el siniestro amparado por el riesgo.  
Como todo contrato, tiene el carácter de bilateral, comercial, oneroso, solemne y real entre otros.
  
- **Siniestro:** es la concentración del riesgo; es decir, su materialización, como el incendio que devora una fábrica, el robo de mercancías, el hundimiento de una nave, la rotura de una maquinaria, el terremoto, entre otros.  
Es en este momento que el seguro también materializa su acción de protección e indemnización.
  
- **Prima:** Es el precio del seguro que paga el asegurado, contratante o tomador en el momento de la emisión de la póliza. La prima es por lo general, para una vigencia anual del seguro, aunque puede excepcionalmente pagarse la prima por una sola vez para una cobertura de varios años (prima única en seguros de vida) y también por una vigencia menor de un año (prima a corto plazo, como para un viaje, seguro de transportes de mercancías, entre otros). Desde el punto de vista jurídico, es el elemento real más importante del contrato de seguro, porque su naturaleza, constitución y finalidad lo hacen ser esencial y típico de dicho contrato.
  
- **Suma asegurada:** Es la cantidad fijada en las condiciones particulares de la póliza. Representa la valorización del riesgo cubierto o suma. Es el límite que está obligado el asegurador a indemnizar en caso de pérdida total del bien u objeto asegurado. En los seguros de cosas o daños, esta suma debe ser el valor real del objeto asegurado. Puede ser distinto del valor declarado y es la suma que el cliente quiere asegurar.
  
- **Vigencia del Seguro:** es el tiempo durante el cual está cubierta la materia del seguro. Generalmente es un año, aunque puede contratarse por menor o mayor tiempo. Al término de la vigencia anual, la renovación por otro período igual, puede producirse

mediante la emisión de un simple certificado de renovación si las condiciones del seguro anterior no han variado.

- **Valor declarado:** es el valor que el asegurado declara tener. El valor asegurado puede ser *Valor real* – que es el valor comercial, depreciado o el *Valor nuevo* - que es el valor de reemplazo o reposición del bien.
- **Lucro cesante – Cédula Inglesa:** la indemnización comienza en el momento que ocurre el daño y termina el día que la capacidad de ganancias ya no se ve perjudicada teniendo como límite el plazo máximo contratado en la póliza. La suma asegurada en este caso es la utilidad bruta anual.

$$\text{Utilidad Bruta anual} = \text{Gastos estables} + \text{Utilidad Neta}$$

- **Gastos Fijos:** son todos aquellos gastos que no disminuyen en forma proporcional con la reducción del volumen del negocio. Ejemplo: planilla, intereses, depreciación, alquileres, gastos de oficina.

## 6.2 Conceptos

*Según Código de Líquidos Inflamables y Combustibles - NFPA 30" (Traducción del Inglés al Español).*

- **Punto de ebullición:** Es la temperatura a la cual la presión de vapor del líquido igual la presión externa. Para definir el punto de ebullición, se debe considerar la presión atmosférica como 14.7 psi (760 mmHg). Para mezclas que no tienen un punto de ebullición constante, el 20% evaporado en una destilación desarrollada según la ASTM D 86 – Standard Method of Test for Distillation of Petroleum Products, será considerado como el punto de ebullición.
- **Punto de inflamación:** es la mínima temperatura a la cual la cantidad de vapor producido al mezclarse con aire puede formar una mezcla inflamable cerca de la superficie del líquido o dentro del envase usado, como lo determina el método ASTM D 56.

- **Presión de vapor:** La presión de vapor de un líquido es la presión de equilibrio de un vapor con su líquido, es decir, la presión del vapor resultante de la evaporación de un líquido de una muestra del líquido en un recipiente cerrado.