

Capítulo 2

Antecedentes

2.1. Accidentes de tipo térmico

Un incendio es un fuego de grandes proporciones que se desarrolla sin control, el cual puede presentarse de manera instantánea o gradual, pudiendo provocar daños materiales, interrupción de los procesos de producción, pérdida de vidas humanas y afectación al ambiente.

Un fuego se origina por la existencia simultánea de tres elementos: combustible, calor y oxígeno. A estos tres elementos también se le puede agregar la reacción en cadena.

El combustible puede estar tanto en estado sólido como en estado líquido, el cual no arde, pero para esto es necesario que se convierta en gas. El calor proporciona la temperatura necesaria para convertir el combustible en gas a la misma temperatura. El oxígeno se convierte en el elemento necesario para provocar la ignición y comenzar a arder. Mientras que la fuente de ignición es cualquier elemento que desencadene el fuego, ya que provee la energía necesaria para iniciar la reacción.

Los procesos propios del desarrollo en la industria, el uso cada vez más frecuente de sustancias inflamables peligrosas y la falta de precauciones en su manejo, transporte y almacenamiento son los principales factores que han propiciado un aumento significativo en la magnitud y frecuencia de los incendios, particularmente en las ciudades donde se ubican grandes complejos industriales.

La propagación del fuego es un factor muy importante que hay que tener en cuenta cuando se produce un incendio, ya que el fuego cuenta con tres vías diferentes de propagación; conducción, convección y radiación.

La conducción se produce entre dos objetos, cuando el calor del objeto más caliente pasa hacia el más frío. La propagación del fuego ocurre a través de tuberías y estructuras metálicas que pueden conducir el calor suficiente para prender el material combustible con el que contacta en otras áreas. Cuando el aire se calienta tiende a subir siendo sustituido por otra masa de aire frío, es aquí cuando aparece la convección, este fenómeno origina corrientes ascendentes que transportan el calor hacia arriba, desplazándolo a través de la estructura mediante cualquier orificio. La temperatura que puede alcanzar el aire sobrecalentado puede incendiar los materiales combustibles que se encuentren a su paso. El calor se transmite por ondas calóricas pasando a través del aire sin que exista movimiento, a esta parte del proceso se le conoce como radiación [1-3].

Según la tipología de los incendios estos se pueden clasificar en [4]:

1. Incendios de charco.
2. Bolas de fuego.
3. Incendios flash.
4. Dardos de fuego.

2.1.1. Incendios de charco

Los incendios de charco pueden ocurrir sobre el suelo o sobre el agua, y suceden cuando un derrame, fuga o escape de líquido inflamable, forma un charco de líquido cuya extensión dependerá de la geometría y naturaleza del suelo. Para que ocurra un incendio del propio charco es necesaria una evaporación de los gases inflamables por medio de la temperatura del líquido que se debe de encontrar por encima de la temperatura de ignición de la sustancia, la ignición de este tipo de incendios es inmediata o diferida. Al incendiarse se producen unas llamas, cuya altura dependen principalmente del diámetro del charco y del calor de combustión. Este tipo de incendios también puede tener lugar en el interior de un tanque de almacenamiento de líquidos inflamables, ver Fig. 1.



Fig. 1 Incendio de charco [5].

Cuando este tipo de incendios se produce sobre el agua, éste puede llegar a calentar el agua hasta el punto de ebullición, creando una violenta erupción que puede terminar en una bola de fuego.

Los efectos perjudiciales de estos accidentes son fundamentalmente de dos tipos. El primero debido a la radiación térmica generada por los incendios, y la segunda por los efectos de los posibles gases tóxicos generados en la combustión [5-6].

2.1.2. Bolas de fuego

Los incendios de bola de fuego son procesos de difusión turbulenta que se originan cuando un recipiente a presión es calentado al punto que la fuerza interna rompe las paredes del contenedor y deja salir el líquido presurizado, creando una onda de presión prendiendo el combustible [1].

La evolución de este fenómeno y su desarrollo depende de varios factores, como la cantidad de movimiento inicial, efectos de elevación y el enfriamiento por radiación. Cabe destacar que entre una de las características importantes de este tipo de incendio está el crecimiento veloz de su diámetro.

Las etapas implicadas en el desarrollo de las bolas de fuego se pueden distinguir en tres fases principales: fase de crecimiento, fase de incendio estable y fase de extinción, ver Fig. 2 [4].

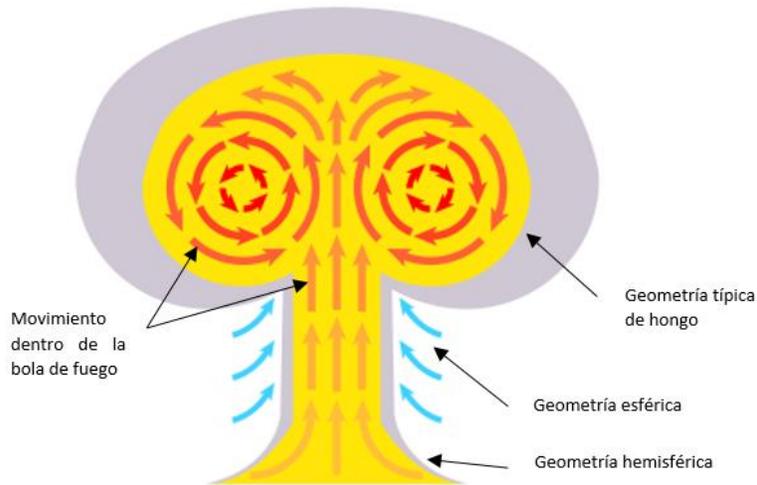


Fig. 2 Evolución de la geometría de una bola de fuego, modificado de [4].

Cabe destacar que este tipo de fuegos son bastante peligrosos y suelen ser de carácter muy destructivo.

2.1.3. Incendios flash

Este tipo de accidentes hace referencia a la combustión de nubes no confinadas, que se caracterizan por la gran rapidez que hay al frente de la llama, esto genera ondas de presión lo que hace que la radiación térmica se perciba a distancias mayores. Las etapas que describen este fenómeno son: la fuga de un gas combustible, dispersión del combustible arrastrado por el aire e ignición de la flama.

Es importante aclarar que este tipo de incendio tiene lugar en el interior de un depósito o recinto encerrado, por lo que los fenómenos peligrosos de mayor

significación son mecánicos, llegando a la explosión y al lanzamiento de proyectiles, ver Fig. 3 [4,7].



Fig. 3 Ejemplo de incendio Flash [7].

2.1.4. Dardos de fuego

Este tipo de incendio es una parte crucial en este proyecto de investigación por lo que se estudiará con mayor profundidad.

Algunos ejemplos relevantes que justifican la investigación de los dardos de fuego, son algunos accidentes que se muestran a continuación.

Primer caso: El 19 de Diciembre de 1982 en Tacao, Venezuela se generó un accidente de dardo de fuego debido a una mala descarga de combustible “fuel oil”, teniendo ésta un efecto domino, ya que seis horas después se generó una segunda explosión en otro de los tanques, causando un incendio por bola de fuego, ver Fig. 4 [8].



Fig. 4 Vista lejana del incidente en Tacao [8].

Segundo caso: El 18 de Septiembre de 2012 se registró una explosión en la planta de gas de PEMEX, creada por una presurización formando primero una bola de fuego y transformándose en múltiples dardos de fuego de varios metros de altura, ver Fig. 5 [9].



Fig. 5 Imagen de la refinería de PEMEX envuelta en fuego [9].

Un dardo de fuego se define como la ignición de una fuga continua de gases o vapores inflamables contenidos en tuberías o recipientes sobrepresionados, ésta se produce a través de un pequeño orificio respecto al tamaño del contenedor, o

por escape de una tubería, generándose una salida turbulenta de combustible en forma de chorro.

En la iniciación de la combustión tiene una gran importancia la velocidad de salida del gas. Este tipo de llama puede alcanzar grandes dimensiones, pese a que su rango de acción es menor al de otros tipos de incendios. Inclusive es normal encontrarlo a velocidades sónicas, ver Fig. 6 [1, 4, 6].



Fig. 6 Ejemplo de dardo de fuego [6].

2.1.4.1.1. Formación y desarrollo de dardos de fuego

Los dardos de fuego constan de las siguientes fases de desarrollo:

- i. **Iniciación:** Fisura o rotura de un contenedor o tubería de interconexión que almacena o transporta un combustible bajo presión. Las causas pueden ser tales como, impacto exterior, fallos en soldaduras, bridas o válvulas, fatiga de material, entre otros.
- ii. **Fuga:** Esta etapa se produce inicialmente en la fase líquida del fluido, produciéndose una chispa que depende de las condiciones termodinámicas

del fluido. Dependiendo de las condiciones en las que ocurra el accidente, la fuga puede producirse en estado de vapor. La fuga suele ocurrir en carácter turbulento, lo que facilita la incorporación del aire y la mezcla con este.

- iii. **Ignición:** Esta fase puede variar dependiendo de las características en las que vaya evolucionando el fuego. Si la fuga se encuentra en un punto de ignición inmediato se produce el dardo de fuego; si esto no es así, se produce una nube constituida por un flash inicial y por la evaporación del charco se genera una nube, la cual encuentra un foco de ignición, en donde el frente de la llama retrocede hacia el origen del chorro y si éste persiste se genera el dardo de fuego [4].

2.1.4.1.2. Efecto domino

La mitad de los accidentes donde están involucrados dardos de fuego, al contacto directo con la llama o al estar dentro del rango de acción de la llama, se puede generar un efecto domino, el cual puede crear grandes consecuencias [10].

Este se puede definir como un conjunto correlativo de acontecimientos que son consecuencias de un accidente previo, relacionados tanto espacial como temporalmente [1].

2.1.4.1.3. Factores que influyen en la radiación térmica

La radiación térmica generada por un dardo de fuego depende de numerosos factores, relacionados generalmente con las propiedades del combustible fugado, así como las características de la fuga, velocidad de salida del gas y las condiciones ambientales.

En el caso de incidencia directa del dardo sobre los elementos próximos, los efectos son considerablemente superiores a los debidos a la radiación.

Según la metodología de cálculos para la estimación de la intensidad de radiación térmica, los dardos son modelizados de diferentes formas. Para las formas más sencillas se considera la llama concentrada en un punto, mientras que otras más apegadas a la realidad lo estiman como un tronco de cono o cilindro. De las cuales la geometría cónica es la más utilizada, siendo estas las magnitudes las más importantes para establecer la radiación térmica.

Con relación a las condiciones de la fuga, es importante tener en cuenta la distancia de despegue y la velocidad de salida del chorro. La primera se define como la longitud de medida desde el orificio de salida hasta donde se inicia la llama. Esta separación es generada debido a que la turbulencia de salida del gas impide la combustión estable. En cuanto a la velocidad de salida, el incremento de su valor provoca un descenso en la fabricación de la energía radiante y por consiguiente, en los niveles de radiación recibida [11].

Otro aspecto importante en la evaluación de la radiación térmica es la presencia de viento, ya que la influencia de esta geometría del dardo es mucho mayor en los incendios en charco y en las bolas de fuego, ver Fig. 7 [4].

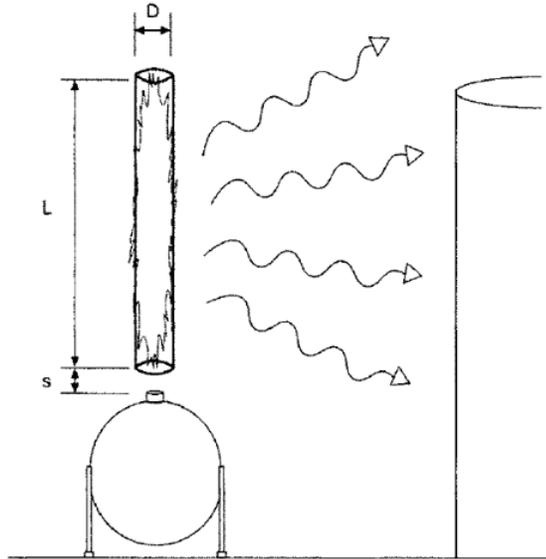


Fig. 7 Representación esquemática del dardo de fuego [12].

2.1.4.1.4. Estudios anteriores

En base a lo mostrado con anterioridad respecto a los dardos de fuego y en busca de saber más sobre estos accidentes se han realizado experimentos a escala laboratorio, el problema de estos es el extrapolar los resultados a escala real, por lo que hay cierta ambigüedad en los resultados y duda en los pronósticos [1].

Otro tipo de experimentación es recrear un dardo de fuego a escala real, esto permite obtener la influencia del tipo del combustible y el largo de la llama. Si es por medio de gas la llama es de menor altura y su color es casi transparente. En cambio si el combustible es bifásico, la llama es más alta con más producción de

hollín de un color amarillo intenso, esto causado por el exceso de combustible. Así mismo se pudo observar que con un flujo de masa entre 0.9 kg/s y 0.43 kg/s la intensidad de la radiación térmica aumenta conforme la altura de la llama, observando también una alta turbulencia en la llama. Por otro lado la superficie de emisión de energía aumenta con la altura de la llama, e incluso se pudo proponer una formulación para encontrarla [13-15].

Las características radioactivas de un dardo de fuego generalmente se expresan a través de la fracción de calor irradiado, es por eso que muchos investigadores han estudiado este parámetro, así como la distribución de temperatura a lo largo de la llama. En base a estos estudios e investigaciones se han encontrado que las llamas de dardo de fuego pueden alcanzar una temperatura máxima que oscila entre los 1250 K y los 1700 K, todo dependiendo de la velocidad del viento, la velocidad de salida del gas entre otros. Sin embargo hay que tomar en cuenta que en este tipo de accidentes se alcanza una velocidad de salida sónica [13,16].

Se ha observado también que la temperatura a lo largo de la línea central de la llama varía considerablemente en dardos de fuego verticales de propano. Del mismo modo la fracción de calor irradiado se disminuye por el tamaño de la llama debido a que el espesor óptico de la llama crece en base al tamaño [13,16].

Sin embargo, cabe mencionar que las investigaciones que se han realizado sobre este tema hasta la fecha es bastante limitada.