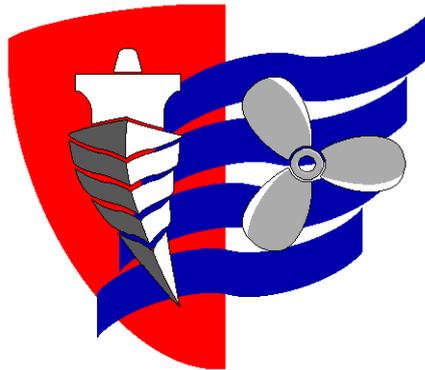


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA.

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.



Trabajo Fin de Grado.

**PREVENCIÓN Y CONTROL DE INCENDIOS EN
ESPACIOS CONFINADOS**

**FIRE PREVENTION AND CONTROL IN CONFINED
COMPARTMENT**

Para acceder al Título de Grado en

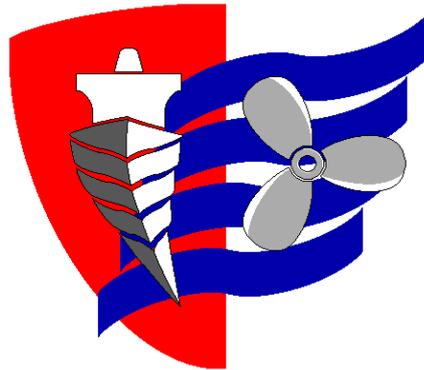
INGENIERÍA MARINA

Autor: José María Gandarillas Rueda
Directora: Belén Río Calonge

Junio de 2016

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA.

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.



Trabajo Fin de Grado.

**PREVENCIÓN Y CONTROL DE INCENDIOS EN
ESPACIOS CONFINADOS**

**FIRE PREVENTION AND CONTROL IN CONFINED
COMPARTMENT**

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARINA

Junio de 2016

ÍNDICE

INDICE	3
RESUMEN.....	7
PALABRAS CLAVE.....	8
ABSTRACT	8
KEYWORDS.....	9
<u>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	10
1.1- PLANTEAMIENTO	11
1.2- ANTECEDENTES	12
1.2.1- DESARROLLO Y EVOLUCIÓN DE LA SEGURIDAD EN LOS BUQUES.....	12
1.2.2- EL PROBLEMA DE LOS INCENDIOS EN LOS BUQUES.....	14
1.4- OBJETIVOS.....	15
1.5- CONCEPTOS BASICOS DEL FUEGO	16
1.5.1- COMBUSTION.	16
1.5.2- COMBURENTE Y COMBUSTIBLE.....	17
1.5.3- ENERGIAS DE REACCION.....	17
1.5.4- TRIÁNGULO Y TETRAEDRO DEL FUEGO	18
1.6- ANALISIS DE LOS ELEMENTOS DE UN INCENDIO.....	19
1.6.1- COMBUSTIBLE	19
1.6.2- COMBURENTE	21
1.6.3- ENERGIA DE ACTIVACION.....	22

1.6.4- REACCION EN CADENA	22
1.7- TIPOS DE FUEGOS.....	23
1.8- TIPOS DE TRANSMISION DEL CALOR	23
1.8.1- CONDUCCION.....	23
1.8.2- CONVECCION	23
1.8.3- RADIACION.....	24
1.9- PRODUCTOS DE LA COMBUSTIION.....	25
1.9.1- GASES DE LA COMBUSTION.....	25
1.9.2- LLAMAS.....	26
1.9.3- CALOR	26
1.9.4- HUMOS	26
1.10- PROCESOS DE COMBUSTION	27
1.10.1- FORMACIÓN DE LOS GASES DEL INCENDIO EN UN ESPACIO CONFINADO.....	27
1.10.1.1- Combustión.....	27
1.10.1.2- Pirólisis	27
1.10.1.3- El color de los gases del fuego	30
1.10.2- TIPOS DE GASES DEL INCENDIO.....	30
4.6.2.1-Gases inflamables del incendio	31
1.10.3- TIPOS DE LLAMA	32
1.11- SINTOMAS E INDICADORES DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO	33
1.11.1- HUMOS	34
1.11.2- ESTRUCTURA.....	35

1.11.3- VENTILACIÓN.....	36
1.11.4- CALOR	36
1.11.5. LLAMAS.....	38
1.12- DESARROLLO DEL INCENDIO EN ESPACIOS CONFINADOS.....	40
1.12.1- FASES DEL DESARROLLO DE UN INCENDIO EN ESPACIOS CONFINADOS.....	43
1.12.1.1- Fase incipiente.....	45
1.12.1.2- Fase de crecimiento.....	46
1.12.1.3- Flashover.	47
1.12.1.4- Fase de pleno desarrollo.....	49
1.12.1.5- Fase de decaimiento.....	50
1.13- FUEGO CONTROLADO POR LA VENTILACIÓN.....	51
1.13.1- LA VENTILACIÓN INDUCE COMPORTAMIENTOS EXTREMOS DEL FUEGO	52
1.13.2.- BACKDRAFT	52
1.13.3.- EXPLOSIÓN DE HUMOS O SMOKE EXPLOSION.....	54
1.13.3.1- Condiciones para que se produzca una explosión de humos	55
<u>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</u>	57
2.1- HERRAMIENTA PARA LA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS (SOLAS CAPÍTULO II-2).....	58
2.2- EL CONVENIO DE FORMACIÓN STCW.....	59

<u>CAPÍTULO III: DESARROLLO</u>	62
3.1. DISEÑO DEL CURSO DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE INCENDIOS EN ESPACIOS CONFINADOS	63
3.1.1- METODO DE APRENDIZAJE EN LOS CURSOS CONTRA INCENDIOS IMO STCW2010..	64
3.1.2- CERTIFICADOS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS EXIGIDOS POR EL STCW2010.	65
3.2- CURSO DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE INCENDIOS EN ESPACIOS CONFINADOS	66
3.2.1- FINALIDAD DEL CURSO.	66
3.2.2- OBJETIVOS DEL CURSO.....	66
3.2.3- REQUISITOS PREVIOS DE INGRESO.....	67
3.2.4- CERTIFICACIÓN	67
3.2.5- NUMERO DE ALUMNOS.	67
3.2.6- DURACIÓN.....	67
3.2.7- PROGRAMA.....	68
<u>CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES</u>	73
<u>CAPÍTULO V: BIBLIOGRAFÍA</u>	75

RESUMEN:

Este Trabajo Fin de Grado, titulado “**PREVENCIÓN Y CONTROL DE INCENDIOS EN ESPACIOS CONFINADOS**” se centra en tratar los peligros a los que pueden estar sometidos los equipos de intervención en la lucha contra incendios, en el caso de que se origine un fuego a bordo y en concreto en los espacios confinados del buque. Ya que durante el desarrollo del incendio pueden aparecer comportamientos extremos del fuego, que incrementen de forma violenta y peligrosa el desarrollo del mismo.

El trabajo comienza con el planteamiento de estos peligros, y con la mención a la importancia que tiene la aplicación de los nuevos conceptos sobre la seguridad en los equipos de intervención. Seguidamente desarrollaremos los antecedentes de la seguridad marítima, y la importancia sobre ella que ha tenido el SOLAS¹ y el convenio de Formación STCW².

Con estas premisas vamos a marcar los objetivos del trabajo para poder profundizar así tanto en el conocimiento de los peligros que se pueden producir, como en el desarrollo y la evolución de los mismos.

Desde este punto de vista, el trabajo demuestra que el personal asignado en los equipos de intervención en la lucha contra incendios a bordo del buque, necesita disponer de los conocimientos y la formación necesaria para enfrentarse a situaciones en las que se produzca un comportamiento extremo y violento del fuego, a pesar de estar en posesión del Certificado Avanzado de Lucha Contra incendios que establece el Convenio de Formación (STCW2010). Por lo tanto lo que proponemos con este Trabajo Fin de Grado es cumplimentar el Certificado Avanzado de Lucha Contra incendios, diseñando para ello un curso especializado en **Prevención y Control de Incendios en espacios Confinados**, el cual estará basado en un curso modelo homologado por la organización marítima internacional (OMI³).

¹ “Safety Of Life At Sea” o Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar.

² “Standards of Training Certification and Watchkeeping for Seafarers” o Convenio de Formación.

³ International Maritime Organization (IMO).

PALABRAS CLAVE: Seguridad Marítima, Espacios Confinados, Comportamiento Extremo del Fuego, Flashover, Backdraft, Pirólisis, Indicadores del fuego.

ABSTRACT:

This Final Degree Project entitled, "FIRE PREVENTION AND CONTROL IN CONFINED COMPARTMENT", focuses on the hazard that may be under subjecting fire fighting intervention equipment, in case that a fire is originated on board and, particularly, under confined spaces of the ship. During the fire's development, extreme behaviours increases the violence and danger of itself.

This project begins with an approach of the hazardous event, the importance of the implementation of new safety concepts intervention teams is also introduced. Afterwards, the marine safety background is explained as well as the importance of the SOLAS over it and the STCW training agreement.

Based on these premises, the objective of this assignment is to deepen into the knowledge of the dangers that can be produced by fires, as well in the development and evolution thereof.

From this point of view, this essay indicates that the assigned staff for the interventional firefighting equipment aboard the ship required to provide the knowledge and formation in order to deal under extremes and violent fire conditions, despite being in possession of the Advanced Certificate Fire fighting establishing the STCW (STCW2010). Therefore, what it is proposed at this Under Degree Final Project is to carry out the Advanced Fire fighting Certificate, designing for this purpose a specialized course on **Fire Prevention and Control in Confined Compartment**; which is based on a model course approved by the International Maritime Organization (IMO).

KEYWORDS: Maritime Safety, Confined Compartment, Extreme Fire Behavior, Flashover, Backdraft, Pyrolysis, Fire Behavior Indicators.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1- PLANTEAMIENTO

Por medio de este Trabajo Fin de Grado y en base a mis conocimientos adquiridos, quiero desarrollar y definir los nuevos conceptos y tratamientos para el control de incendios en los espacios confinados de los buques, y más concretamente, en situaciones en las que se desarrollen comportamientos extremos del fuego.

Estos comportamientos extremos del fuego lo forman tres fenómenos: el *Flashover*, el *Backdraft* y la *Explosión de Humos*, de los cuales entraremos al detalle en su definición y explicación más adelante.



Foto 1: Backdraft en fase de desarrollo

Fuente: CIS 2012

Este trabajo está realizado con el único fin de poder determinar los posibles riesgos a los que estaremos expuestos cuando se origine un incendio en los espacios confinados del buque en el que se desarrollen los fenómenos anteriormente expuestos. Por tanto pretendo profundizar en el conocimiento de cómo se origina la combustión, y el posterior desarrollo del incendio, ya que en las estructuras interiores el fuego sigue unos patrones muy cambiantes por diferentes factores, como pueden ser: la capacidad de la estructura para disipar o no calor, la acumulación de humos, la posición del foco de fuego, etc....

En un buque dado sus características estructurales y de construcción, tiene bastantes probabilidades de que se origine un incendio en el que se desarrolle un comportamiento extremo del fuego, por lo tanto es fundamental y necesario que las tripulaciones conozcan su desarrollo, sus síntomas e indicadores de aparición y la técnica adecuada para su control.

Con todo ello vamos a conseguir dos objetivos fundamentales, por un lado una mayor eficiencia en las labores de extinción de incendios, y por otro lado una mayor seguridad del personal que forma parte de los equipos de intervención en la lucha contra incendios del buque.



Foto 2: Equipo de intervención en labores de extinción

Fuente: SEGANOSA. Curso avanzado de lucha contra incendios para profesionales del mar

1.2- ANTECEDENTES

1.2.1- DESARROLLO Y EVOLUCIÓN DE LA SEGURIDAD EN LOS BUQUES

A lo largo de la historia de la navegación los accidentes que han desembocado en emergencias, al poner en riesgo al buque y a la tripulación

son numerosos. Los incendios, explosiones, vías de agua y otras, han sido una continua preocupación desde el punto de vista tanto preventivo, como de control y resolución en el caso de que se produzcan. Todo ello ha contribuido a que la concienciación en materia de seguridad de las tripulaciones haya sido muy alta en todo momento.

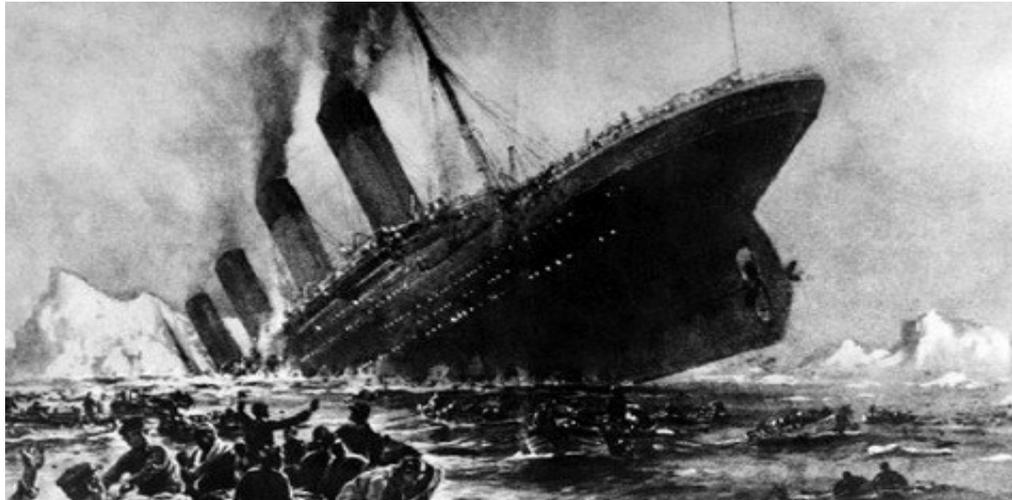


Foto 3: Ilustración del hundimiento del TITANIC

Fuente: SEGANOSA 2013

En el año 1914 en respuesta a la catástrofe de Titanic, se adoptó la primera versión del convenio SOLAS (Safety Of Life At Sea: Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar). Es desde este momento cuando se comienza a elaborar una normativa marítima internacional en materia de seguridad con los suficientes apoyos, que hace que a día de hoy sea reconocido como el más importante de los convenios internacionales en materia de seguridad marítima.

Con el paso de los años el convenio se fue actualizado, así en el año 1929 se redactó la segunda versión. Pero es con la creación de la ONU en el año 1945, cuando comienza el desarrollo de normas internacionales que mejoren la seguridad en el tráfico marítimo, dado lugar en el año 1948 a la formación de una convención que establece formalmente lo que hoy conocemos como OMI (Organización Marítima Internacional), cuyos objetivos se recogen en el lema: “Una navegación segura, protegida y eficiente para mares limpios”.

En el año 1948 se redactó también la tercera versión SOLAS, y posteriormente en los años 1960 y 1974 se redactaron la cuarta y quinta versión respectivamente, siendo esta última versión, la que se encuentra actualmente vigente con la inclusión de una serie de enmiendas según su aceptación previa, cuyo nombre actual es “SOLAS 74 con enmiendas”.

Este procedimiento ha hecho posible que “SOLAS 74 con enmiendas”, se encuentre vigente a día de hoy tras más de 40 años desde su creación. Puesto que se trata de un convenio con un texto actualizado en continua evolución, adaptándose a los adelantos técnicos de una manera rápida y dando respuesta inmediata a los problemas que van surgiendo.

1.2.2- EL PROBLEMA DE LOS INCENDIOS EN LOS BUQUES

A lo largo de la historia de la navegación el fuego ha sido el responsable de una considerable pérdida de buques. Los incendios a bordo son uno de los mayores peligros que pueden amenazar la vida de un buque, ya que en caso de que no sea controlado rápidamente o que no sea localizado a tiempo, pone en serio peligro a la tripulación y a la misma nave, teniendo consecuencias devastadoras especialmente en buques que transportan cargas inflamables.



Foto 4: Incendio del buque tanque KASHMIR

Fuente: NUESTROMAR NEWS

Una de las características más importantes a reseñar y a tener en cuenta ante un incendio a bordo, es que el buque debe defenderse solo en la mayoría de los casos ya que no hay posibilidad de auxilio exterior, salvo que el buque se encuentre en puerto o próximo a él. Esta situación de necesidad de autodefensa, hace que la disponibilidad de medios y la formación de la tripulación en técnicas y tácticas de control del fuego ocupen una parte importante de la formación tanto en tierra como en la mar.

La técnica se aprende en los centros de formación en lucha contra incendios, pero luego hay que poner en juego a bordo la táctica, que irá orientada en función del tipo de buque y navegación efectuada a través de los ejercicios periódicos de lucha contra incendio obligatorios y que estipula la normativa.

La principal diferencia que reside entre la lucha contra incendios en la mar y la lucha contra incendios en tierra, se debe a que en la mar la acción prioritaria es mantener la integridad del buque y sus condiciones de navegabilidad. Por el contrario en tierra se puede evacuar la estructura afectada por el fuego y limitarse a intentar su extinción. Es por ello que en la lucha contra incendios en la mar es una parte fundamental y necesaria el conocimiento y el entrenamiento de las tripulaciones en el ataque al fuego de espacios interiores y confinados.

1.4- OBJETIVOS

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado, es dar a conocer los nuevos conceptos y tratamientos que aplicaremos en los fuegos que se originen en los espacios cerrados del buque, en los que siempre existe una probabilidad muy elevada de que se produzcan fuegos con un comportamiento extremo y violento. Para ello nos basaremos en el conocimiento más profundo del desarrollo del fuego en espacios confinados con respecto a las enseñanzas en la lucha contra incendios que se imparte a día de hoy en los cursos que marca el Convenio de Formación STCW (STCW2010).

Estos cursos están bien diseñados, pero son muy ambiguos en su contenido, en su desarrollo y en sus prioridades. Dejando en la mayoría de los casos la enseñanza del curso a criterio del instructor que los imparte.

Lo que se pretende con este Trabajo de Fin de Grado es que en los cursos de formación se dé la importancia suficiente al problema que puede suponer que un fuego declarado a bordo del buque se comporte de forma extrema y violenta, dando lugar a situaciones de flashover, backdraft y explosiones de humo. Para ello vamos a confeccionar un curso específico siguiendo el modelo del curso 2.03 OMI que corresponde al Certificado Avanzado de Lucha Contra Incendios, con el único fin de que se aumenten los conocimientos y la formación al respecto para este tipo situaciones, mejorando así la preparación de los equipos de extinción y reduciendo de una forma considerable el riesgo para el personal.

Los objetivos a cumplir son:

- Conocimiento de la naturaleza del fuego.
- Comprender el comportamiento y desarrollo de los incendios en espacios confinados.
- Interpretar los signos e indicadores que el fuego nos envía durante la intervención, a fin de reconocer los posibles comportamientos extremos del mismo, y poder anticiparse.
- Realizar una evaluación dinámica del riesgo.
- Aplicar las técnicas de extinción más adecuadas.
- Aumentar la seguridad de los equipos de intervención.

1.5- CONCEPTOS BASICOS DEL FUEGO

1.5.1- COMBUSTION

La combustión es una reacción exotérmica de oxidación-reducción, en la cual concurren dos productos, un combustible en fase condensada o gaseosa o ambas a la vez, y un oxidante del combustible. Por lo general el fenómeno va acompañado de una emisión de luz y calor. Si la combustión

transcurre en fase condensada produce incandescencia, mientras que si lo hace en la fase de vapor produce llama visible. Cuando el fenómeno transcurre en un recinto cerrado, aumenta rápidamente la presión y puede originar explosiones.

Se llama combustión espontánea a la que se produce naturalmente en diversas sustancias sin previa aplicación de un cuerpo inflamado, únicamente por elevación de la temperatura ambiental.

La combustión incompleta se manifiesta por cuerpos parcialmente quemados, generando partículas de carbón, gases y vapor. La combustión completa es un proceso de transformación de la energía de un sistema físico en otras formas no utilizables, por descomposición de los elementos que han participado en la combustión, generando gases y vapores.

Entre los factores que influyen en la combustión están la temperatura, la humedad del material y ambiental, la disgregación del material, la superficie del material, la forma física del material, el tamaño del material, etc...

1.5.2- COMBURENTE Y COMBUSTIBLE

Como hemos explicado con anterioridad La combustión es una reacción exotérmica de oxidación-reducción, en la cual concurren dos productos, un oxidante y un reductor. En terminología de incendios, el oxidante se denomina **comburente** y el reductor **combustible**, y las reacciones que tiene lugar entre ambos se denominan **combustiones**.

1.5.3- ENERGIAS DE REACCION

Para que el fuego se inicie, es necesario que los reaccionantes (comburente combustible) se encuentren en unas condiciones favorables en las que pueda producirse la combustión. La energía necesaria para que la reacción se inicie se denomina **energía de activación**, y es proporcionada por las fuentes de ignición.

1.5.4- TRIANGULO Y TETRAEDRO DEL FUEGO

Aunque los procesos de combustión son muy complejos se pueden representar mediante un triángulo, en el que cada uno de sus lados representa a uno de los tres factores esenciales para producir un fuego: combustible, oxidante y energía (Foto 5).

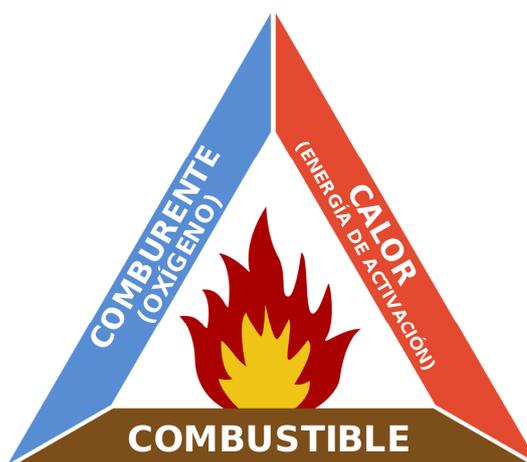


Foto 5: Triángulo del fuego

Fuente: Publicaciones del Gobierno Vasco 2002. Emergencias 112 Larrialdia

Esta expresión se aceptó durante mucho tiempo. Sin embargo muchos fenómenos anómalos pueden explicarse completamente a base de este triángulo. Para poder explicar tales fenómenos, es necesario incluir un cuarto factor como es la existencia de reacciones en cadena. Para ello se propone una nueva representación, que comprende las condiciones necesarias para que se produzca un fuego, en forma de tetraedro (Foto 6).

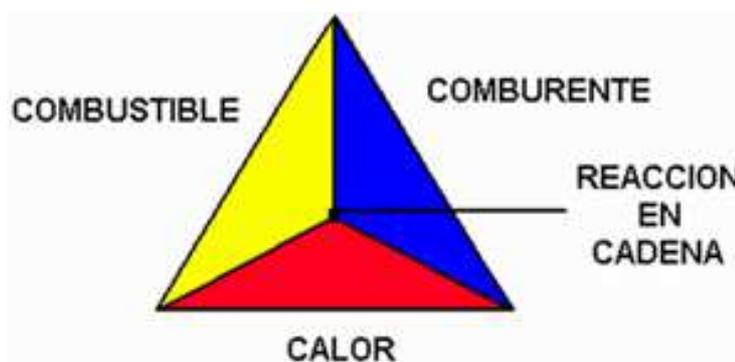


Foto 6: Tetraedro del fuego

Fuente: Publicaciones del Gobierno Vasco 2002. Emergencias 112 Larrialdia

1.6- ANALISIS DE LOS ELEMENTOS DE UN INCENDIO

1.6.1- COMBUSTIBLE

Se define de una forma sencilla como cualquier sustancia susceptible de combinarse con un oxidante en una reacción rápida y exotérmica. Siempre reacciona en un incendio en fase gaseosa ya que para combinarse con el oxidante, necesita encontrarse en el mismo estado físico y el oxidante generalmente es el aire.

Los combustibles pueden encontrarse en cualquier estado físico, sólido, líquido o gaseoso. En estado gaseoso se puede decir que ya está preparado para arder, pero cuando se encuentra en fase sólida o líquida debe de estar a la temperatura necesaria para emitir vapores, lo que se denomina **Punto de Inflamación**, que es la temperatura a la cual el combustible emite la cantidad de vapores necesaria, capaces de mantener la combustión.

El combustible, para poder arder debe estar en las mezclas correctas con respecto al aire, cuando se encuentra en las proporciones adecuadas decimos que está dentro del **Rango de Inflamabilidad**, el rango representa los porcentajes de vapores de combustible en aire capaces de arder y tiene dos límites; uno por exceso y otro por defecto, fuera de los cuales no es posible la combustión.

De esta manera tenemos:

- **Límite Inferior de Inflamabilidad:** Mínima concentración de gas necesaria para que la mezcla gas-aire se inflame en una reacción de combustión. Por debajo de esta concentración no puede haber inflamación.
- **Límite Superior de Inflamabilidad:** Máxima concentración de gas para que la mezcla gas aire sea aún inflamable en una reacción de combustión. Por encima de esta concentración no puede haber inflamación.

A los porcentajes comprendidos entre los dos límites es a lo que llamamos Rango de Inflamabilidad, el cual varía con la temperatura, así al aumentar la temperatura de la mezcla el rango se ensancha, y por el contrario al disminuir la temperatura de la mezcla el rango se estrecha hasta el punto que la mezcla puede dejar de ser inflamable.

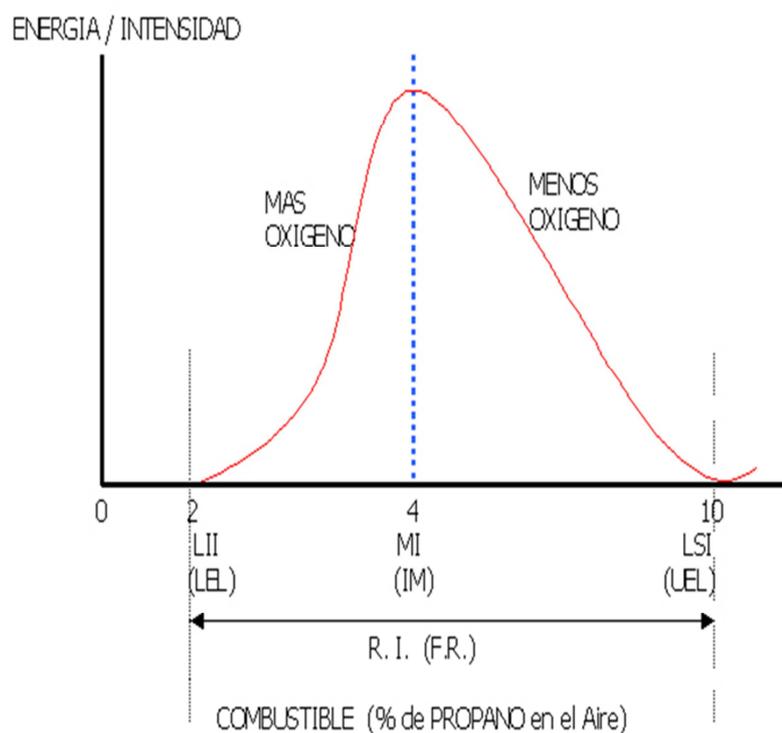
Tabla 1: Características de los combustibles
Fuente: TEPESA 2013

PRODUCTO	L.I.E	L.S.E.	P. Autoinflamación	Tª INFLAMACION
Butano	1,50%	8,50%	287°C	-
Gasoil	2%	9%	210°C	65°C
Gas Natural	4,40%	15%	540°C	-
Gasolina	1,40%	7,60%	360°C	-37°C
Hidrógeno	4%	74%	600°C	-
Metano	4,40%	17%	537°C	-
Propano	2%	10%	470°C	-

En el desarrollo de fuegos con comportamiento extremo, la temperatura del **Punto de Autoinflamación**⁴ tiene gran importancia ya que tanto el fenómeno de Flashover y Backdraft, se producen por la autoinflamación de los gases de incendio.

En la terminología utilizada a veces para exponer este concepto se utiliza la palabra “explosividad”, en la mayoría de los casos es incluso más utilizada. La diferencia es simple, cuando nos referimos a fuegos en exterior, la mezcla se inflamará, pero si estamos hablando de espacios, estructuras, tanques de combustible etc. El término a aplicar es el de **Explosividad**, ya que en este tipo de situaciones el comportamiento del fuego va a tender más a comportarse de una forma explosiva, al encontrarse confinado y de esta forma, aumentar su velocidad de combustión.

⁴ Temperatura a la cual el combustible alcanza el nivel de energía que necesita para arder, sin necesidad de aportarle energía de activación.



Fotografía 7: Representación de los límites en Curva de Energía - % de Mezcla

Fuente: BLESA 2003

En la Fotografía 7, observamos que además de los límites de inflamabilidad se representa otro punto llamado **Mezcla ideal**, y representa la concentración de gas necesaria combinada con aire que produce una reacción 100% efectiva. Es decir se producirá a ese porcentaje una combustión perfecta. En caso de explosión en ese porcentaje como vemos se produce el mayor desprendimiento de energía y será el punto más violento en la combustión.

1.6.2- COMBURENTE

Es cualquier agente que puede oxidar a un combustible (agente reductor). En este proceso el agente oxidante obtiene electrones tomándolos del combustible. Desde el punto de vista del incendio, el oxígeno del aire es el comburente principal, pero existen otros agentes oxidantes aparte del oxígeno que contiene el aire.

En general, los agentes oxidantes, que pueden afectar a las reacciones de los incendios, contienen los siguientes elementos:

- Oxígeno (peróxidos).
- Oxígeno y nitrógeno (nitratos y nitritos).
- Oxígeno y cloro, bromo, etc. (cloratos, etc.).
- Oxígeno y azufre (sulfatos).
- Flúor, cloro, bromo (elementos gaseosos, etc.).

Por lo general, en altísimo porcentaje, es el aire el agente oxidante por excelencia y en muy contadas ocasiones en intervención se encontrarán los elementos citados anteriormente. El comburente debe de encontrarse en las debidas proporciones de mezcla con el combustible, de no ser así, no habrá combustión.

1.6.3- ENERGIA DE ACTIVACION

Es la energía mínima que necesitan los reactivos para que se inicie la reacción. Esta energía es aportada en la combustión por las fuentes de ignición. Un foco puede provocar la ignición si su energía en intensidad (temperatura) y en extensión (cantidad de calor) es suficiente para aumentar la temperatura en una zona de la masa combustible por encima de su Punto de Autoinflamación.

Las diferentes formas de aporte energético a la mezcla se agrupan en:

- Energías de alta temperatura, de gran extensión y de larga duración. **LLAMAS**.
- Energías de alta temperatura, de pequeña extensión y de corta duración. **CHISPAS**.
- Energías de baja temperatura, independiente de la extensión y la duración. **SUPERFICIES CALIENTES**.

1.6.4- REACCION EN CADENA

Es el proceso mediante el cual progresa la reacción en el seno de la mezcla combustible-comburente. De la energía desprendida en la reacción, parte se disipa en el ambiente provocando los efectos térmicos derivados del incendio y el resto calienta a más productos reaccionantes aportando la

energía de activación precisa para que el proceso continúe. Si esta última energía no es suficiente, el proceso se detiene y si es superior a la necesaria el proceso se acelera.

1.7- TIPOS DE FUEGOS

A pesar de que los elementos que componen un fuego son siempre los mismos, este adquiere características sustancialmente diferentes según el combustible que se quema, por tanto los fuegos se pueden clasificar en:

- **Fuegos tipo A:** son fuegos de materias sólidas, que tienen alto punto de fusión y en cuya combustión se forman brasas.
- **Fuegos tipo B:** son fuegos de materias líquidas, que tienen bajo punto de fusión y en cuya combustión no se forman brasas.
- **Fuegos tipo C:** son fuegos de gases combustibles (inflamables)
- **Fuegos tipo D:** son fuegos que afectan a metales de características especiales y a compuestos químicos reactivos ligeros.
- **Fuegos tipo E:** son fuegos eléctricos

1.8- TIPOS DE TRANSMISION DEL CALOR

1.8.1- CONDUCCION

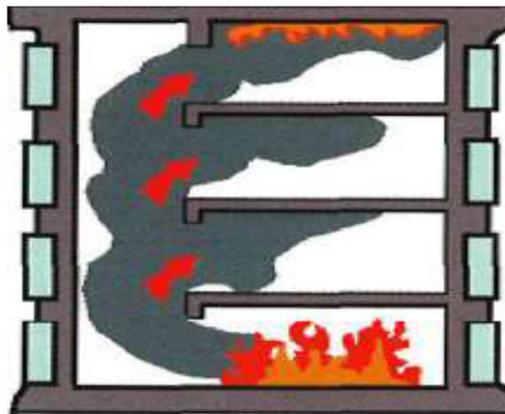
Es la transferencia de calor entre dos puntos de un cuerpo que se encuentran a diferente temperatura sin que se produzca transferencia de materia entre ellos. La conducción del calor puede únicamente tener lugar cuando las distintas partes de un cuerpo se encuentran a diferente temperatura. La rapidez de la conducción depende del tipo de material utilizado, ya que cada material tiene una conductividad térmica determinada.

1.8.2- CONVECCION

Propagación del calor de un lugar a otro por un movimiento real de la sustancia caliente. En esta transferencia de calor interviene un fluido (gas o líquido) en movimiento que transporta la energía térmica entre dos zonas. El

calor ganado o perdido por una superficie a determinada temperatura en contacto con un fluido a otra temperatura distinta, depende de:

- De que la superficie sea plana o curva.
- De que sea horizontal o vertical.
- De que el fluido en contacto con la superficie sea líquido o gas.
- De la densidad, la viscosidad, el calor específico y la conductividad térmica del fluido.
- De que la velocidad del fluido sea lo suficientemente pequeña para producir un régimen laminar o lo bastante grande para originar un régimen turbulento.
- De si tiene lugar evaporación, condensación o formación de películas.

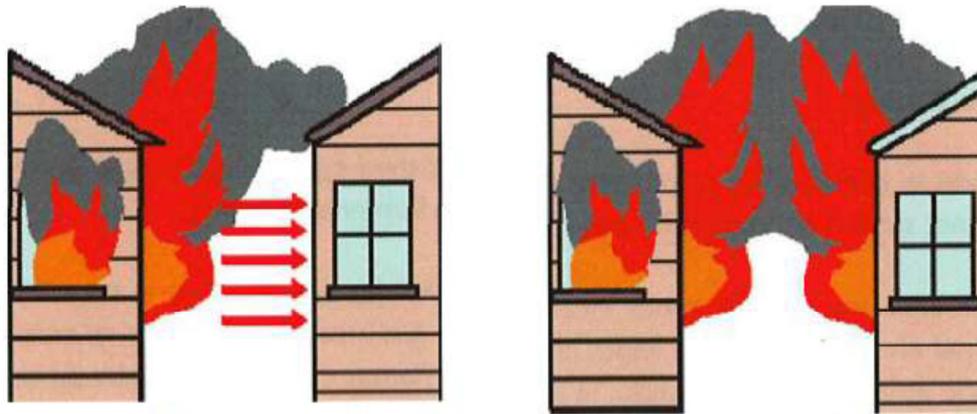


Fotografía 8: Transmisión de calor por convección

Fuente: ADAMS 2007

1.8.3- RADIACION

Es la transferencia de calor sin intervención de partículas materiales que transporten el calor, ya que tiene lugar mediante ondas electromagnéticas y, por tanto, puede realizarse incluso en el vacío. Estas ondas son emitidas por los cuerpos calientes en línea recta y en todas las direcciones, se mueven a través del aire y no se ven afectadas por el viento, penetran superficies transparentes y translúcidas, incluyendo el cristal y el agua, transportan energía y ésta es tanto mayor cuanto más lo sea la temperatura de aquellos (ADAMS 2007).



Fotografía 9: Transmisión de calor por Radiación

Fuente: ADAMS 2007

1.9- PRODUCTOS DE LA COMBUSTION

1.9.1- GASES DE LA COMBUSTION

Los más importantes son:

- **El CO (monóxido de carbono):** es el gas más peligroso en la atmósfera de un incendio. A pesar de no ser el más tóxico de los gases que resultan de la combustión, su abundancia y el hecho de ser incoloro, inodoro e insípido, le convierten en el principal peligro.
- **El CO₂ (Anhídrido carbónico):** no se considera un gas venenoso por sí mismo. En cualquier caso, se genera en grandes cantidades en los incendios y la elevación de sus niveles en aire implica normalmente, que se alteren las concentraciones de otros gases presentes en el mismo, es decir, reduce la concentración de oxígeno ambiental y en consecuencia aumenta el ritmo de la respiración, con la consiguiente inhalación de otros gases que pudieran estar presentes. Por tanto, los efectos perjudiciales del dióxido de carbono sobre los seres humanos son más indirectos que directos.

1.9.2- LLAMAS

Es un fenómeno luminoso que acompaña a la combustión de una sustancia gaseosa, líquida o sólida, cuando arden mezcladas con el oxígeno del aire. El color de una llama depende del material que se quema, aunque la temperatura juega también un papel determinante, puesto que una llama cambia su color a medida que aumenta la generación de calor y la intensidad del fuego, pudiendo sufrir una transición de rojo tenue (llamas más frías), a naranja y amarillo, y finalmente a blanco en el punto más caliente e intenso del fuego.

1.9.3- CALOR

De los productos de combustión, el calor es el principal responsable de la propagación de un fuego, principalmente por los tres medios conocidos, conducción, convección y radiación.

Los riesgos fisiológicos por exposición al calor, comprenden desde lesiones leves hasta la muerte. Se puede tolerar el aire a temperatura elevada hasta cierto límite por la humedad del aire, por la protección que de la ropa y por la actividad física que se esté realizando. Cuanto mayor sea la humedad del aire respirado, menor es el nivel de temperatura del aire que se puede soportar.

1.9.4- HUMOS

El humo es una suspensión de partículas sólidas en un gas. Los gases producto de la combustión, contienen fundamentalmente monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua. Estos gases mezclados con el aire, forman una mezcla en suspensión de partículas que unido a las finas gotas de agua producto de la evaporación forman el humo.

La formación de humo es favorecida:

- Por la combustión incompleta
- La humedad de los materiales
- La naturaleza de los materiales

Al igual que en las llamas, las distintas coloraciones del humo nos pueden decir que son las que arden. A modo de ejemplo, podemos decir que:

- Los humos blancos resultan de la combustión de productos vegetales, forrajes, etc...
- Los humos amarillos resultan de la combustión de sustancias químicas que contienen azufre
- Los humos grises resultan de la combustión de compuestos celulósicos, fibras artificiales
- Los humos negros resultan de la combustión de productos derivados del petróleo
- Los humos de color rojo o violeta, indican la presencia de gases altamente tóxicos

1.10- PROCESOS DE COMBUSTION

1.10.1- FORMACIÓN DE LOS GASES DEL INCENDIO EN UN ESPACIO CONFINADO

1.10.1.1- Combustión

En las primeras etapas del incendio hay suficiente aire disponible, la combustión será bastante eficiente, produciendo principalmente dióxido de carbono y vapor de agua. Pero según se va consumiendo el aire en el espacio confinado, la combustión se hace menos eficiente, se producen menores cantidades de dióxido de carbono (CO_2) y más monóxido de carbono (CO) ya que hay menos oxígeno (O_2) disponible para que la reacción química se produzca de forma eficiente.

1.10.1.2- Pirólisis

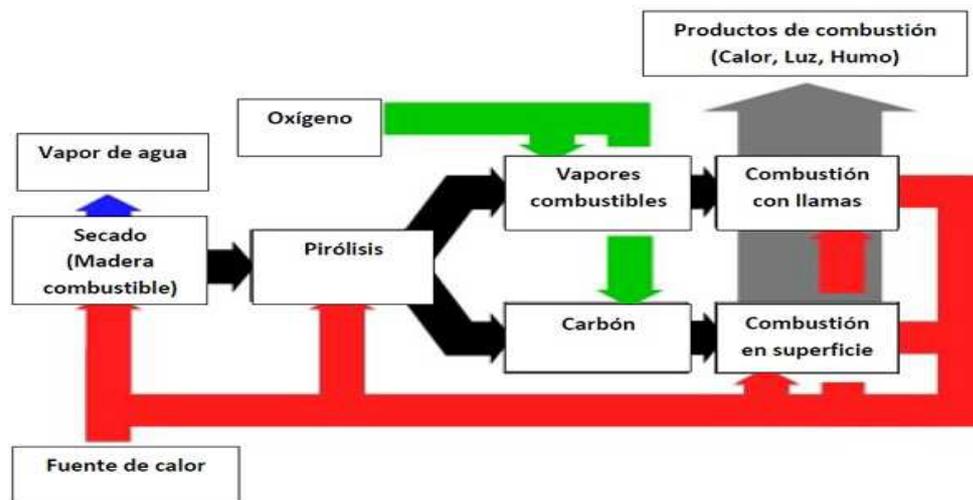
Se define la pirólisis como la descomposición química de una sustancia por el efecto calor. Todas las sustancias, si se les aplica calor, se descompondrán desde su estado sólido o líquido al estado vapor, emitiendo moléculas que se unen con otras formando sustancias nuevas. La aplicación de calor, a las moléculas provoca la inestabilidad de las mismas y se

descompone en sustancias nuevas.

La madera formada por Hidrógeno, Carbono y Oxígeno: $C_6 H_{10} O_5$, cuando se “piroliza” da lugar a: CO_2 , H_2O , C, CO.

Los procesos de pirólisis son muy importantes en el fenómeno del incendio al menos por dos razones:

- Algunas sustancias arden porque primero ha habido un proceso de pirólisis que produjo gases de descomposición que luego se incendiaron.
- En un incendio ya declarado una parte muy importante de los gases tóxicos, corrosivos y venenosos que están en los humos proviene de la pirólisis de los materiales que aún no se han quemado completamente, la otra parte son gases de combustión.



Fotografía 10: Combustión de la madera

Fuente: TEPESA 2013

Los gases de pirólisis están compuestos por una mezcla de diferentes componentes que son función de los materiales que intervienen en el proceso y de las propias condiciones del incendio (cantidad de oxígeno presente, temperatura, etc.), el resto suelen ser gases de composición simple. Precisamente esta característica, hace que sea difícil aplicar los criterios de inflamabilidad de un producto a los gases de incendio, con lo que

ello comporta. Resulta difícil determinar con exactitud tanto los límites de inflamabilidad de estos gases como su propio rango, el cual, además, se ve influenciado en el caso de un incendio por la temperatura y la concentración de oxígeno, pudiendo incluso no presentar inflamabilidad si la temperatura no es lo suficientemente elevada y el valor de la mezcla ideal es alto.

La pirólisis puede comenzar a temperaturas relativamente bajas y ocurre a temperaturas mucho más bajas de las que se requieren para la inflamación de estos productos.

- Zona A: Hasta 200°C: La madera se seca y comienza una leve descomposición.
- Zona B: 200° – 280°C: Se crea una gran cantidad de productos secundarios producto de la descomposición y comienza la carbonización.
- Zona C: 280° – 500°C: Ocurre una pirólisis rápida, liberando o generando una amplia gama de compuestos químicos complejos. Hay reacciones entre estos productos y se forma carbón.
- Zona D: > 500°C: La temperatura de la superficie del carbón es suficiente para inducir reacciones secundarias como la combinación de carbono libre y dióxido de carbono (asfixiante) para producir una gran cantidad de monóxido de carbono (tóxico e inflamable).

La pirólisis en el desarrollo de fuegos interiores tiene gran importancia ya que el contenido y estructura (pintura, madera, plásticos, textiles, etc.) de un compartimento producirán gases inflamables debidos a la pirólisis cuando son calentados, lo que de ahora en adelante denominaremos gases de incendio. La cantidad de material “pirolizado” aumentará en la medida que la temperatura aumente.

1.10.1.3- El color de los gases del fuego

El color de los gases del fuego producidos por el incendio y que salen y por las aberturas en el compartimento variará dependiendo de distintos factores:

- Densidad: cuanto más diluidos son los gases del fuego, más claros son, cuanto más comprimidos están (densos) se vuelven más oscuros.
- Ventilación: cuanto más ventilación hay disponible, el incendio arderá con mayor eficacia reduciendo la cantidad de gases del fuego que pueden ser de color claro. Si el suministro se restringe, la combustión será poco eficiente e influirá en la reacción química. Este cambio en la reacción producirá otras sustancias que hará que el color sea más oscuro.
- Temperatura: la temperatura puede influir en la reacción química y las sustancias producidas pueden variar en tipo y consistencia según cambia la temperatura.
- Combustible: cuando el combustible arde en un incendio producirá distintas sustancias debido a la reacción química (combustión). Por lo tanto, si se queman distintos combustibles, pueden producir diferentes sustancias como resultado de su combustión. Todas estas sustancias distintas pueden variar de color:
 - Gases espesos y negros: hidrocarburos, (diésel, gasolina)
 - Gases amarillos: material sulfuroso (algunos plásticos)
 - Gases grises: material celuloso, (madera).
 - Gases blancos: goma espuma en combustión latente

1.10.2- TIPOS DE GASES DEL INCENDIO

Los gases del incendio (humo) son el conjunto de gases producidos por el incendio y pueden dividirse en cuatro grupos principales:

- Gases no inflamables: debido a la pirolisis y a la combustión completa, principalmente dióxido de carbono y vapor de agua.

- Gases inflamables: debido a la pirólisis y a la combustión incompleta, siendo el monóxido de carbono el más común.
- Aire: arrastrado hacia los gases del incendio por las altas temperaturas del fuego.
- Cenizas: partículas de carbono flotando entre los gases.

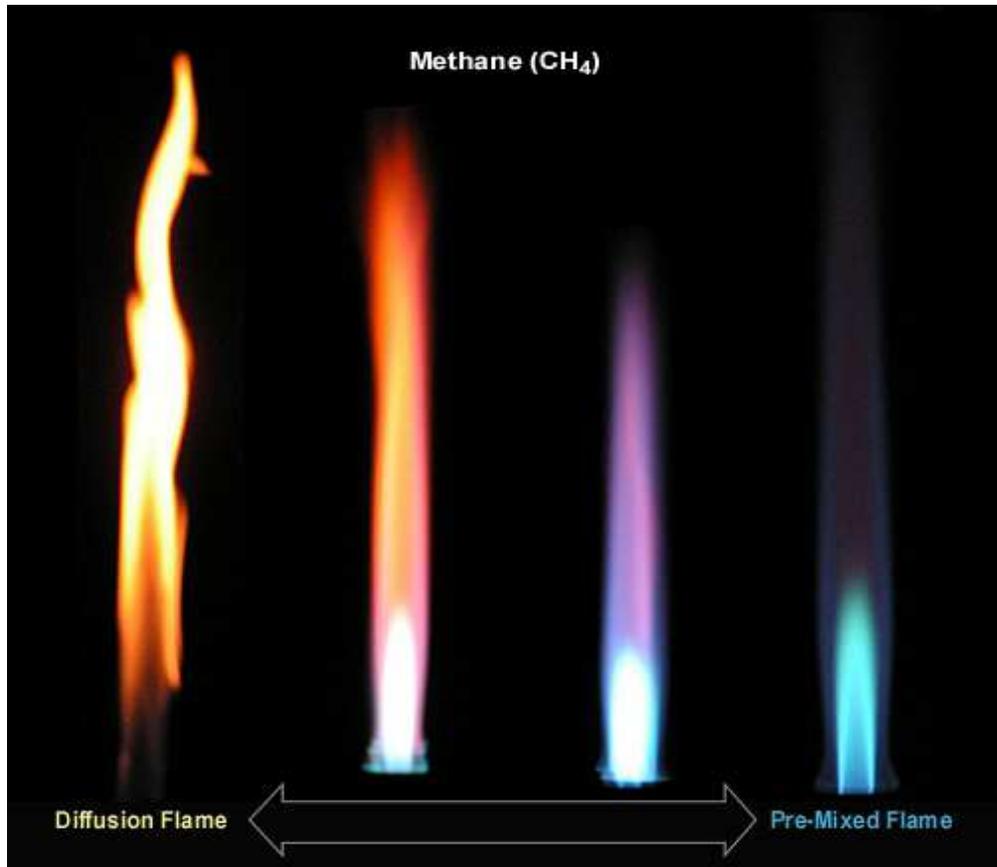
1.10.2.1- Gases inflamables del incendio

Si tenemos diferentes composiciones de gases, los rangos de inflamabilidad y las temperaturas a las que estos gases son inflamables también serán diferentes, por tanto distinguiremos dos tipos de gases inflamables en función del tipo de material.

- **Gases de materiales fibrosos:** son los procedentes de los materiales naturales, como madera, aglomerado, etc..., estos materiales producen unos gases en los cuales se aprecia que su mezcla ideal está alrededor del 70% y normalmente no arden en frío.
- **Gases de materiales altamente energéticos:** son los procedentes de materiales sintéticos y derivados del petróleo como aceite pinturas, poliuretanos etc., estos gases se aprecia que la mezcla ideal está en el 25% y son combustibles en frío.

1.10.3- TIPOS DE LLAMA

Es un fenómeno luminoso que acompaña a la combustión de una sustancia gaseosa, líquida o sólida, cuando arden mezcladas con el oxígeno del aire.



Fotografía 11: tipos de llama en función de la mezcla aire/combustible

Fuente: CFBT-US

Hay varios tipos claramente diferentes de llamas:

- **Llamas de premezcla:** se producen cuando el combustible se mezcla antes de la combustión con el aire, es decir los gases se encuentran mezclados antes de la ignición. La llama de un caldera de gas doméstico sería un buen ejemplo de una llama premezclada. Sin embargo, la mayor parte de las llamas que se encuentran en un incendio de un compartimento son las llamas de difusión.

- **Llamas de difusión:** en una llama de difusión, el combustible se difumina en el aire para formar una zona de reacción que contiene combustible, aire, y calor en la proporción correcta para soportar la combustión, los gases no están mezclados antes de la ignición. Las llamas de difusión son el resultado de una combustión menos eficiente (presencia de un mayor porcentaje de material en partículas sin quemar debido a la falta de aire).

1.11- SINTOMAS E INDICADORES DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

Es importante para el personal que se dedica a la lucha contra incendios poder interpretar a través de lo que observa y se siente, cual es la situación a la que se va a enfrentar o se está enfrentando, ya que el fuego en la mayoría de las intervenciones es cambiante y más aún en los espacios confinados, donde se pueden producir situaciones poco deseables para las que hay que estar preparado.

Cada fuego nos muestra señales o indicadores que pueden ayudar a determinar tanto el estado de desarrollo del fuego, como los cambios que puedan ocurrir. Los indicadores del fuego a los que nos referimos son:

- **Humos:** composición, color, densidad, altura del suelo, presión.
- **Estructura:** tipo, propiedades térmicas, tamaño, ventilación, etc.
- **Ventilación:** turbulencias, pulsaciones, sonidos generados.
- **Calor:** sensación, desprendimiento de pintura, ennegrecimiento de cristales.
- **Llamas:** color, volumen, localización



Fotografía 12: Indicadores del comportamiento del fuego

Fuente: CFBT-US

1.11.1- HUMOS

Los humos son partículas del combustible en suspensión que se originan por una combustión incompleta de los compuestos de carbono. Es uno de los elementos más peligrosos en los fuegos que tienen lugar en las estructuras confinadas, puesto que dependiendo de la acumulación y la temperatura que adquieran en el incendio, pueden provocar situaciones de comportamientos extremos y violentos del fuego.

Cabe indicar además que es un indicador extremadamente útil para determinar la localización del fuego y su extensión además es visible generalmente desde fuera y dentro del compartimento.

Hay una serie de factores en los que debemos fijarnos en los humos, como son:

- **Color:** dependiendo del tipo de producto o sustancia utilizado como combustible en la combustión, pueden resultar humos de

color blanco, amarillo, gris, negro y rojizo o violeta.

- **Densidad:** varía en función de su temperatura, cuanto mas alta sea la temperatura, menor será su densidad y por tanto se situará en la zona de de arriba del espacio confinado
- **Densidad óptica o espesor**
- **Volumen**
- **Localización**



Fotografía 13: Humos

Fuente: Agencia EFE 2015

1.11.2- ESTRUCTURA

La estructura y la construcción del recinto en donde se produce el fuego, tiene una enorme importancia en el desarrollo del incendio. Las propiedades térmicas de los materiales de construcción, en nuestro caso un buque, de mamparos, cubiertas y forros de acero juegan un papel fundamental en la propagación del fuego por transmisión de calor. Puesto que la temperatura en una zona bien aislada del exterior va a aumentar rápidamente, aumentando la radiación.

1.11.3- VENTILACIÓN

La ventilación del recinto en donde se produce el fuego tiene una enorme importancia en el desarrollo del incendio, puesto que cuando se crea una apertura en un compartimento incendiado los gases calientes saldrán por la parte superior de la misma mientras que el aire frío entrará por la parte inferior de dicha apertura. Esto va a provocar que dentro se produzca un total y repentino movimiento de los gases y humos que pueden verse enriquecidos por el aire que entra, y provocar una autoinflamación violenta de los gases de incendio, pudiéndose desarrollar lo que denominamos un backdraft.

La apertura del compartimento para atacar el fuego es una de las acciones más delicadas de la intervención. Antes de abrir habrá que observar temperatura, movimiento de gases de incendio, radiación de calor y juzgar si la apertura es conveniente o es mejor enfriar la estructura antes de penetrar.

1.11.4- CALOR

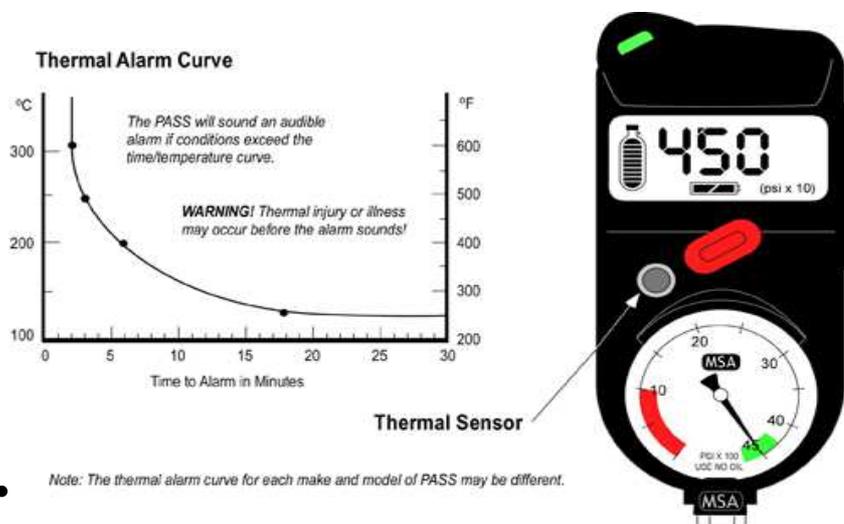
El calor o energía térmica es el mayor enemigo de los equipos de intervención, les afecta con toda su intensidad y es el responsable de la propagación del fuego. Por tanto deben ser capaces de reconocer las fuentes de incendio potenciales en una estructura y utilizar esta información para calcular el potencial crecimiento del incendio.

La temperatura que se desarrolla en un incendio de un recinto cerrado es el resultado directo de la energía liberada cuando el combustible arde. En calor generado en un recinto incendiado se transmite en el espacio desde la fuente combustible inicial a los otros combustibles mediante los tres mecanismos de transmisión de calor:

- **Conducción**
- **Convección**
- **Radiación**

El calor es un proceso de transferencia de energía debido a las diferencias de temperatura que propiamente dicho no podemos ver, pero si podemos ver y sentir el impacto de los aumentos en la temperatura como consecuencia del calor a través de los siguientes indicadores:

- **Efectos Táctiles:** Son importantes en la detección de la temperatura y sus cambios. Se hace mediante la utilización de sensores de temperatura que alerten sobre el entorno térmico al que se está expuesto. Estos sensores se denominan dispositivos de alerta personal (PASS).



Fotografía 14: Dispositivo PASS. Sensor de temperatura

Fuente: MSA PASS

- **Efectos Visuales:** La velocidad y la turbulencia de los humos son indicadores visuales claros en la detección de la temperatura y sus cambios, existiendo además otros indicadores visuales claros como se son:
 1. Ampollas y decoloración de pinturas: Esto ocurrirá a temperaturas desde los 100°C.
 2. Ennegrecimiento de portillos y ventanas sin mostrar llamas: Indica condiciones de una mezcla cerca del límite superior de inflamabilidad.

3. Aumento de calor repentino dentro del compartimento:
Indica que la inflamación generalizada es inminente.

El uso de cámara térmica ofrece un medio muy eficaz para la visualización de las diferencias de temperatura proporcionando mucha seguridad al personal que interviene en un siniestro. Su uso debe comenzar en el exterior y continuar durante las operaciones interiores.



Fotografía 15: Situación de Flashover visto con cámara térmica

Fuente: TEPESA 2013

1.11.5. LLAMAS

Las llamas son la emisión de luz visible del producto, de la combustión. En incendios en el compartimento, las llamas son el resultado de material descompuesto (principalmente carbón). La apariencia de la llama producida por la combustión de una sustancia puede facilitar información al equipo acerca de la eficacia y rendimiento del proceso de combustión.

Un mismo producto puede quemar con llamas de colores diferentes dependiendo de la eficiencia del proceso de combustión. Cuando el

suministro de aire es bueno, la llama en el interior de un compartimento suele ser de color amarillo. Cuando la concentración de oxígeno se reduce, la llama se convierte en un color rojizo-anaranjado.

La forma o forma de la llama también pueden dar una indicación del tipo de la combustión que ocurre. Las llamas de color rojizo-anaranjado son a menudo turbulentas con una forma de onda corta. La ignición de productos de pirólisis acumulados produce una llama de color muy amarillo.

Los indicadores de llamas son:

- **Color:** La coloración de las llamas de difusión comúnmente encontradas en la estructura de incendios funciona de rojo a naranja a amarillo a casi blanco. Esta escala nos dice algo acerca de la energía del fuego, cuanto más roja esté la llama, menos temperatura y el calor radiante se están generando. Si el combustible orgánico, en forma de gas o vapor, se mezcla previamente con aire, el color de la llama será azulado. En incendios en espacios confinados, una llama azulada con movimiento lento es una indicación de un incendio sustancialmente controlado por la ventilación.
- **Tamaño y localización:** La localización de las llamas puede proporcionar información importante.
- **Duración:** Si disponemos de oxígeno y combustible suficiente es probable que la combustión con llama sea continua. Sin embargo, cuando un incendio compartimentado se está quemando en un régimen de ventilación controlada, las llamas pueden ser intermitentes en función de cómo varíe la concentración de combustible y de oxígeno.

Hasta aquí se ha desarrollado la combustión y sus procesos, así como los fundamentos para el análisis de un incendio y los fundamentos para interpretar los indicadores de comportamiento extremo del fuego, su estudio

y comprensión nos van a ayudar a conseguir mayor seguridad en las intervenciones, hay que recordar que se trata de saber qué es lo que nos está indicando el fuego, para comprender el peligro.

El siguiente paso en este trabajo va a ser poner todos los conceptos desarrollados en este capítulo juntos para entender el proceso de comportamiento extremo del fuego y su control a través del conocimiento.

1.12- DESARROLLO DEL INCENDIO EN ESPACIOS CONFINADOS

Consideramos un espacio confinado a aquel, que se encuentra dentro de una estructura, por consiguiente un incendio en un espacio confinado es aquel que se desarrolla en espacios confinados de dimensiones limitadas.

Su desarrollo está sometido a múltiples y complejos factores, y su evolución va a estar condicionada fundamentalmente por la disponibilidad de aire para su desarrollo.

Para que un incendio se desarrolle en un compartimento, necesita como ya sabemos aire y un combustible que aún no este en fase gaseosa, además de una fuente de calor que tenga la suficiente energía para calentar parte del contenido del compartimento, de modo que comience a “pirolizarse” y a generar vapores combustibles.

Al comienzo del incendio el aire se va a encontrar en suficiente cantidad para que este se desarrolle sin problemas. A medida que el incendio evoluciona el aire se consume y el régimen de ventilación de la zona, hará que el incendio evolucione en uno u otro sentido.

Se puede decir que en una primera fase del incendio se encuentra “controlado por el combustible”, ya que hay aire suficiente en el compartimento y el fuego se desarrollará en función de la disponibilidad de combustible.

A partir de este punto, si la ventilación es limitada o nula se va a producir el confinamiento de gases de incendio y un rápido aumento de temperatura, que son los factores de aparición del comportamiento extremo del fuego.

Las llamas del incendio inicial seguirán calentando el contenido del compartimento transmitiendo el calor y generando mayor cantidad de gases inflamables por pirolisis, de forma que el incendio se desarrollará y se extenderá a otras partes de la misma forma que el fuego inicial.

El proceso continuará y al final tendremos un incendio generalizado, y aquí es importante reseñar, que su desarrollo fundamentalmente va a estar sujeto a las características de la estructura.



Fotografía 16: Situación de Flashover visto con cámara térmica

Fuente: SEGANOSA. Curso avanzado de lucha contra incendios

Para comprender el desarrollo de un incendio en estructuras y compartimentos cerrados tenemos que analizar una serie de factores como son:

- Cantidad de calor producido.
- Fase del desarrollo del incendio.

- En qué régimen está quemando.

Estos factores van a venir dados por las características de la estructura en la que se desarrolla el incendio, siendo estas características las que van a controlar su comportamiento.

Las características estructurales a tener en cuenta son:

- **La carga de fuego:** Viene dada por la suma del poder calorífico de los combustibles que pueden verse involucrados en un incendio, dentro de la zona. A menudo no es posible conocerla con exactitud, pero la presencia de los tipos de productos nos puede dar una idea de la peligrosidad. SOLAS, limita la carga de combustible como medida de prevención en algunas zonas del buque.
- **Tamaño y compartimentación de la estructura:** El tamaño del compartimento juega también su papel en el desarrollo. En compartimentos pequeños, el fuego se desarrollará mucho más rápidamente que en compartimentos grandes, pero también hay que tener en cuenta que se pueden almacenar más productos susceptibles de arder en zonas más amplias y además una zona amplia contiene más aire con lo que el fuego puede ser mejor sostenido aun con la misma cantidad de combustible que pueda tener en uno más pequeño.
En cuanto a la compartimentación es obvio que estructuras altamente compartimentadas, nos van a proporcionar más seguridad, ya que el desarrollo del fuego se va a ver ralentizado.
- **Propiedades Térmicas de la Estructura:** Un buen aislamiento térmico previene la pérdida de calor y retarda la propagación del fuego. Por tanto si se produce un incendio en el interior de la estructura el calor no se va a disipar. Cuanto mayor sea el aislamiento térmico, mayor calor va a quedar atrapado en el interior de la estructura, y por tanto aumenta la probabilidad que

el fuego desarrolle un comportamiento extremo.

- **Perfil de ventilación:** Cualquier cambio en el perfil de ventilación va a influir en el comportamiento del fuego. Hay que tener en cuenta que la configuración de la forma del compartimento dentro de la estructura, incluyendo portillos, puertas y escaleras interiores abiertas, pueden tener un impacto significativo en el desarrollo de una trayectoria de flujo de aire desde el fuego a uno o más puntos de salida. La introducción de aire adicional en un incendio controlado por la ventilación, dará como resultado un rápido aumento de la tasa de liberación de calor, además de una rápida progresión del fuego.

Es esencial que los oficiales al mando de un equipo de emergencia reconozcan la influencia de la ventilación en el comportamiento del fuego y como la potencial entrada de aire impulsada por una inadecuada ventilación pueden cambiar las condiciones del incendio. Se deben ajustar las estrategias y tácticas en consecuencia.

1.12.1- FASES DEL DESARROLLO DE UN INCENDIO EN ESPACIOS CONFINADOS

Parte del proceso de la lectura del fuego implica el reconocimiento de las etapas de desarrollo del fuego en el que nos encontramos envueltos. Hay que recordar que las condiciones de incendio pueden variar considerablemente en toda la estructura del buque con un compartimento que contiene un fuego totalmente desarrollado, un compartimento adyacente en la etapa de crecimiento, y otros compartimentos todavía no afectados.

Reconociendo las etapas de desarrollo del fuego es probable la progresión a través de este proceso y permite que los equipos de lucha contra incendios puedan predecir lo que sucederá después, si no se toma la decisión correcta. Los posibles cambios debidos a la ventilación no

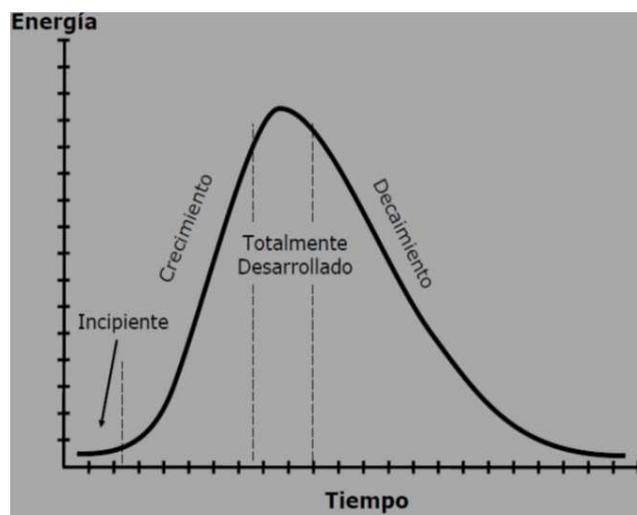
planificada, como una apertura accidental de un hueco por donde pueda entrar aire, tendrán posibles efectos sobre la acción táctica de la intervención y la capacidad de reacción por parte del personal es directamente proporcional a su conocimiento y experiencia.

El desarrollo del fuego en un compartimento, se describe mediante un concepto general, basado en una aproximación teórica, que nos permite comprimir, facilitar y esquematizar las diferentes fases por las que pasa un incendio que se produce en espacios confinados.

El desarrollo de un incendio en un compartimento lo dividimos en cuatro etapas:

- **Inicio**
- **Crecimiento**
- **Flashover**
- **Pleno desarrollo**
- **Decrecimiento**

Estas cuatro etapas se representan mediante una curva tipo normalizada de incendios en interiores, en función de dos magnitudes, Energía y Tiempo, la cual está representada en la siguiente fotografía.



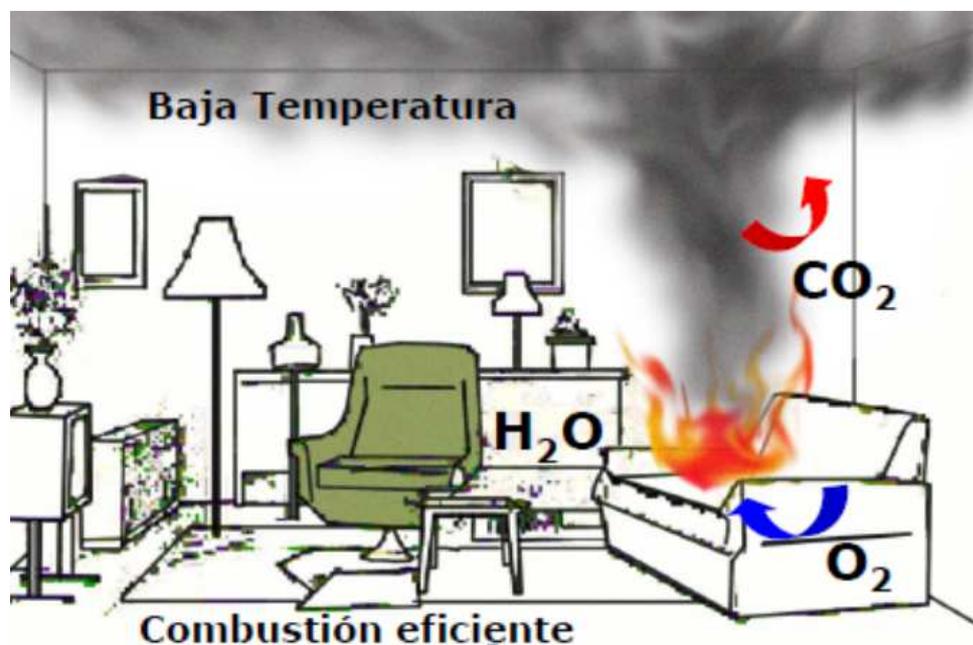
Fotografía 17: Curva de Incendio en Compartimentos

Fuente: TEPESA 2013

Los incendios en compartimentos no siempre siguen esta curva de desarrollo. La velocidad con que el fuego se desarrolla, la tasa de los picos de liberación de calor y la duración de la quema, dependerán de las características del combustible involucrado y el perfil de ventilación así como de las complejas relaciones entre el combustible que se quema y su entorno.

1.12.1.1- Fase incipiente

Una vez que la combustión comienza, el desarrollo de un incendio incipiente depende en gran medida de las características y la configuración del combustible involucrado (fuego controlado por el combustible). El aire en el compartimento proporciona oxígeno adecuado para continuar el desarrollo del fuego. Durante esta fase inicial de desarrollo del incendio, el calor radiante calienta combustible adyacente y continúa el proceso de pirólisis. Un penacho de gases calientes y la llama se levanta del fuego y se mezcla con el aire más frío dentro del compartimento. Esta transferencia de energía comienza a aumentar la temperatura global en dicho compartimento. Todos los elementos capaces de iniciar el incendio empiezan a interactuar.



Fotografía 18: Incendio en Fase de Inicio

Fuente: TEPESA 2013

En esta fase la combustión es bastante completa con una concentración de oxígeno en la atmósfera normal (21%) y generando CO₂ y H₂O (vapor de agua) por la desecación previa de los materiales.

Con las llamas cerca del techo, la capa de gases calientes se hace más claramente definida y aumenta de volumen, el fuego se mueve más allá de su fase incipiente y con el oxígeno adecuado, seguirá creciendo más rápidamente.

1.12.1.2- Fase de crecimiento

Una vez pasada la etapa inicial, si hay suficiente oxígeno dentro del compartimento, el combustible adicional se va a ver involucrado en el incendio debido a la liberación de calor del foco primario, que lo está calentando. Por consiguiente va a aumentar la temperatura del compartimento, dando comienzo la estratificación térmica de los gases en función de su temperatura y densidad.

El fuego puede seguir creciendo a través de propagación de la llama o por la inflamación de otro combustible dentro del compartimento. Como las llamas llegan hasta el techo se doblarán y comenzaran a extenderse horizontalmente. Disminuye la concentración de O₂ y por tanto los productos de pirólisis y subproductos inflamables van a empezar a arder en combustión incompleta generando el CO que va a ser un factor decisivo en la aparición del Flashover al actuar de fuente de ignición.

La caliente capa de gases acumulados en el techo va a comenzar a inflamarse continuando su extensión horizontal a través del techo. A medida que el fuego se desenvuelve aún más en la etapa de crecimiento, el mecanismo de transferencia de calor dominante en el compartimento de fuego va a pasar de la convección a la radiación. La transferencia de calor radiante aumenta el flujo de calor a nivel del suelo, empeorando las condiciones del entorno.



Fotografía 19: Incendio en fase de crecimiento

Fuente: TEPESA 2013

Los factores que influyen en la etapa de crecimiento del incendio principalmente son respecto a la estructura:

- Volumen del compartimento. Altura y forma de las cubiertas o techo.
- Distancia del incendio a las fuentes de combustible adicionales y a los mamparos del recinto.
- Revestimientos.
- Tamaño, número y situación de los huecos de ventilación.
- Capacidad térmica de la estructura para disipar calor.
- Características del cerramiento. Aislamiento térmico.

1.12.1.3- Flashover

El flashover es uno de los tres comportamientos extremos del fuego y generalmente el más común, se define como la repentina transición de la etapa de crecimiento a un fuego plenamente desarrollado, también se puede expresar como combustión súbita generalizada.

Ocurre cuando hay una transición rápida a un estado donde todos los combustibles del compartimento participan en la combustión. Las

condiciones previas para que se produzca el flashover son:

- Temperatura del colchón de gases del compartimento a la altura del techo entre 500°C y 650°C.
- Alto nivel de calor radiante del colchón de gases al suelo. Calor radiante entre 15-20 KW/m².

En estas condiciones el ambiente térmico, favorece la autoinflamación de los gases de incendio que es lo que realmente ocurre. El responsable de la combustión súbita es la autoinflamación del monóxido de carbono. El CO es uno de los gases de combustión que se produce cuando la combustión se produce con defecto de aire. En el punto de transición la combustión ha consumido gran parte del aire que se encontraba en el compartimento, pero todavía hay aire suficiente, para que haya combustión. El CO, actúa de fuente de ignición al autoinflamarse en el ambiente descrito anteriormente ya que su temperatura de autoinflamación es de 605°C.

Debemos indicar además, que para que se produzca un flashover es necesario que el compartimento o espacio confinado tenga algún perfil de ventilación, ya que si no hubiese aire los gases de incendio no se autoinflamarían. Una vez que comienza el flashover, los agentes pasivos presentes, es decir el CO₂, el vapor de agua H₂O y los carbonos libres (hollín), generan reacciones endotérmicas aportando productos que también se van a autoinflamar y producir más calor.



Foto 20: Secuencia de autoinflamación de los gases de incendio. Flashover

Fuente: CIS 2012

El ambiente térmico en el que se produce este fenómeno es sumamente hostil, por eso hay que conocer su desarrollo y de qué forma se produce, una vez desarrollado es muy difícil dadas las altas temperaturas pararlo, si no se dominan los conceptos y técnicas para su control, aun conociéndolas a veces la evacuación y retirada es el único recurso.

Es de vital importancia para los equipos de lucha contra incendios a bordo, una vez que han accedido a la zona de incendio, deben estar atentos al desarrollo del fuego y reconocer las señales y síntomas que puedan alertar de que se puede, o va a producirse un flashover.

Los síntomas e indicadores de un Flashover son:

- Indicadores de un fuego ventilado.
- Amortiguación del ruido del incendio sensación de silencio
- Altas temperaturas.
- Superficies calientes.
- Llamas que avanzan a nivel del techo
- Incremento en la velocidad de pirólisis.
- Calor radiante doloroso, de forma repentina.

Es importante recordar que flashover no siempre tiene porque ocurrir siempre, debe de haber suficiente combustible y oxígeno para que el fuego para llegue a flashover. Si el combustible primario que comienza a arder no contiene suficiente energía (calor de combustión) y no la libera con la suficiente rapidez (velocidad de liberación de calor, función del oxígeno disponible), el flashover puede que no se produzca.

Siguiendo nuestro esquema de evolución y desarrollo del fuego en interiores, hemos llegado al punto donde comienza la fase de incendio plenamente desarrollado, es decir el momento después del flashover.

1.12.1.4- Fase de pleno desarrollo

En esta etapa de post-combustión súbita, la liberación de energía está en general limitada por ventilación. Los gases no quemados se acumulan en el nivel superior del compartimento y con frecuencia se queman a medida

que salen del compartimento, lo que resulta en aparición de llamas que intentan salir por huecos de puertas, ventanas o cualquier hueco que puedan encontrar. La temperatura media de los gases dentro de un compartimento en esta fase de pleno desarrollo oscila entre los 700°C y los 1200°C.

Nos encontramos con una situación, en la que todo el combustible disponible está ardiendo y la situación puede evolucionar hacia dos posibles situaciones:

- Incendio controlado por el combustible.
- Incendio controlado por la ventilación. Lo más probable.

El compartimento donde se inició el fuego se encuentra en la fase plenamente desarrollado, mientras que otros compartimentos adyacentes aún no se han involucrado. Los gases calientes y las llamas que se extienden por la transferencia de calor del compartimento pueden generar que se involucren en el incendio otros paquetes de combustible como, por ejemplo, los contenidos, los forros de compartimentos y materiales estructurales, cuyo resultado va a ser la propagación del fuego.

Las condiciones pueden variar ampliamente con un completo fuego desarrollado en un compartimento, un incendio en otra etapa de crecimiento, y un fuego incipiente aún otra. Es importante observar que mientras que un incendio en un compartimento adyacente puede ser incipiente, las condiciones dentro de la estructura pueden ser un peligro inmediato para la vida y la salud.

1.12.1.5- Fase de decaimiento

La fase final de un fuego o decaimiento, está caracterizada por una continua deceleración del incendio, en la que el fuego se extinguirá bien porque se ha consumido el combustible, o bien por la limitación de contenido de oxígeno dentro del compartimento.

Como ya hemos analizado en relación con el flashover el combustible en esta etapa no tiene energía suficiente o no tiene una velocidad de liberación de calor suficiente para que la combustión continúe. Si llegamos a

este punto sin más contratiempos, el incendio se extinguirá.

Ahora bien, hay una manera, más problemática para que el fuego pase a la etapa de decadencia. Cuando el perfil de la ventilación del compartimento o de la estructura no proporciona suficiente oxígeno, el fuego se va a mover a la etapa de decrecimiento. La tasa de liberación de calor disminuye a medida que desciende la concentración de oxígeno, sin embargo, la temperatura puede continuar aumentando durante algún tiempo.

Esto presenta una amenaza significativa ya que el compartimento implicado puede contener una alta concentración de calor, combustible pirolizado y productos gaseosos inflamables de la combustión, que no están ardiendo porque no hay aire, solo lo están esperando. Estas son las condiciones para que se produzca otro de los comportamientos extremos del fuego, el “Backdraft”.

1.13- FUEGO CONTROLADO POR LA VENTILACIÓN

En condiciones de ventilación controlada, el exceso de pirolización y los productos inflamables de combustión presentes en el humo son un peligro considerable para los equipos de intervención. Cuando el fuego está ardiendo en un estado de ventilación controlada, cualquier aumento en el suministro de oxígeno al fuego se traducirá en un aumento de la tasa de liberación de calor. Un aumento de la ventilación puede ser el resultado del equipo cuando penetra en el compartimento, rotura de algún elemento que provoque una entrada de aire no planificada.

Es esencial saber reconocer que el fuego está controlado por la ventilación, y la influencia de los cambios planificados y no planificados en el perfil de ventilación. La mayoría de los incendios en compartimentos interiores que progresan en la etapa de crecimiento controlados por la ventilación. Cuando llegan los medios contra incendios, es importante observar si hay corrientes de aire bidireccionales, humo en la parte superior y aire en la parte inferior, esto por lo general es un indicador de que el

incendio está controlado por la ventilación.

1.13.1- LA VENTILACIÓN INDUCE COMPORTAMIENTOS EXTREMOS DEL FUEGO

Cuando el fuego está controlado por la ventilación el incremento de aire proporcionado al fuego incrementará la cantidad de calor y dependiendo de las condiciones podrán desarrollarse comportamientos extremos del fuego, es decir, si el fuego está controlado por la ventilación y los gases de incendio y el humo están a su temperatura de inflamación, el aumento de la ventilación dará como resultado un flashover de ventilación inducida.

1.13.2.- BACKDRAFT

Este es un comportamiento del fuego, más violento que el flashover. Para que se dé una situación de Backdraft, el fuego tiene que estar controlado por la ventilación en una de las fases posteriores al flashover.

Si el aire se consume y no es reemplazado pero la temperatura alcanzada en el compartimento debido al incendio es alta, el compartimento continuará con su inercia térmica. Los gases de incendio serán los procedentes de una combustión incompleta, tendremos un colchón de gases y humos muy enriquecidos con productos de pirólisis sin quemar humos, CO, etc., y las llamas empezarán a apagarse.

Estamos en una situación en la que tenemos un ambiente con productos de combustión muy calientes, es decir por encima de su punto de autoinflamación y además se encuentran por encima de su límite superior de inflamabilidad. En estas condiciones como sabemos no puede existir la combustión, porque no hay aire, pero todo está preparado para actuar ya que a los gases de incendio no les va a hacer falta fuente de calor, ya lo tienen, se encuentran por encima de la temperatura de su punto de autoinflamación, solo están esperando que algo o alguien aporte aire a la mezcla.

Esquematisando la situación, tenemos que:

- El oxígeno se consumirá antes de ser remplazado.
- Se genera un incremento de temperatura en el recinto (radiación del colchón de gases).
- Las llamas se reducen o incluso desaparecen.
- Los materiales, continúan pirolizando y enriqueciendo el cojín de gases de incendio.
- Se dificultará la combustión al aproximarse al límite superior de inflamabilidad.

Cuando el aporte de aire al incendio es inferior al demandado, aparece uno de los indicadores más claros de una posible situación de backdraft, “las pulsaciones de incendio”. El fuego siempre intenta mantenerse, pero para mantenerse necesita aire, por eso es muy hábil en su búsqueda y es capaz de aprovechar cualquier resquicio por el que pueda “respirar” y siempre lo va a encontrar antes que nosotros.

Las pulsaciones son debidas a la expansión y contracción del colchón de gases que provocan combustiones y aportaciones de aire alternativamente por donde puede, generalmente lo que vemos es salida por pequeñas rendijas de humo, que de repente desaparece, como si estuviese respirando. Esta aspiración y expulsión no siguen un ritmo determinado, el fuego las produce según sus necesidades.

Los síntomas e indicadores de un Backdraft son:

- Incendio con ventilación limitada o sin ventilación.
- Humo espeso: negro o con tonos amarillos.
- Puertas y ventanas calientes, incluso en partes muy bajas.
- Ventanas ennegrecidas de hollín (aspecto aceitoso).
- Poca o nada llama visible, en su caso, de color azul.
- Posibles silbidos a través de rendijas y pequeños orificios.
- Pulsaciones de humo a través de huecos de ventilación.
- Aspiración rápida de aire hacia dentro si se hace una apertura.

Ante estos síntomas es necesario tomar precauciones, el problema será que originemos una ventilación inadecuada, la apertura es muy peligrosa.

El backdraft si se produce, puede originar una deflagración súbita que se traslada hacia el exterior por las aberturas acompañado de una fuerte onda de presión, mayor de 0,1 bares.

Tanto el Flashover como el backdraft si bien son fenómenos diferentes, ambos presentan una amenaza significativa para los equipos de intervención. Son fuegos de rápido de progreso debidos al confinamiento de los productos de la combustión con aporte de aire, de alguna manera.

Dependiendo de una serie de variables tales como la ubicación del incendio, temperatura de la capa los humos y gases calientes y el perfil de ventilación estos fuegos de rápido desarrollo pueden tardar algún tiempo en producirse. Sin embargo, cuando lo hacen, el desarrollo de los incendios será muy rápido. Los equipos que deban de entrar en un compartimiento o un edificio que contiene un fuego ventilado deben de conocer y saber manejar los riesgos que se pueden presentar por la posibilidad de que el fuego progrese rápidamente.

1.13.3.- EXPLOSIÓN DE HUMOS O SMOKE EXPLOSION

El término explosión de humo y backdraft se confunden a menudo, hay diferencias bastante sencillas entre estos dos fenómenos de comportamiento extremo del fuego.

Una explosión de humo implica la inflamación del combustible, el humo en este caso premezclado con el aire dentro de su rango de inflamabilidad. No requiere la mezcla con aire (aumento de la ventilación) para arder.

Un backdraft requiere una mayor concentración de combustible y un aumento de la ventilación a fin de entrar en su rango de explosividad y arder debido a las altas temperaturas de los gases de incendio.



Foto 21: Condiciones de Explosión de Humos y Backdraft

Fuente: TEPESA 2013

Una explosión de humo se produce cuando los productos de pirólisis no quemados y productos inflamables de la combustión se acumulan y se mezclan con el aire, formando una mezcla inflamable. La introducción de una fuente de ignición de cualquier origen va a dar como resultado una violenta explosión de los gases combustibles premezclados y aire. Este fenómeno se puede producir en zonas alejadas del fuego o después del control de incendios. (Grimwood, 2008).

La explosión de humos es similar a la inflamación de propano o gas natural dentro de una estructura. Las fuentes de ignición pueden ser llamas, brasas o incluso pueden no estar relacionada con el fuego, como podría ser una fuente de origen eléctrico, en un punto donde se hubiesen acumulado humos inflamables premezclados en aire.

1.13.3.1- Condiciones para que se produzca una explosión de humos

El riesgo de una explosión de humo es mayor en los compartimientos o espacios adyacentes, pero que aún no participan en el fuego. La filtración de humo a través de los espacios vacíos u otros conductos puede dar lugar a un volumen bien mezclado de humo (combustible) y aire. La explosión de

humo crea una sobrepresión significativa ya que el combustible y el aire se mezclan previamente y los resultados de ignición son una liberación de energía muy grande.

Varios factores influyen en la violencia de este tipo de explosión:

- El grado de confinamiento. A mayor confinamiento corresponde un aumento de presión.
- La masa de combustible premezclado y aire dentro del rango de inflamabilidad. Cuanto más combustible premezclado mayor liberación de energía.
- Qué tan cerca se encuentra la mezcla de una concentración estequiométrica. Cuanto más cercana a una mezcla ideal más rápida será la deflagración).

Es muy difícil predecir una explosión de humo. Sin embargo, los siguientes indicadores apuntan a la posibilidad de que este fenómeno se produzca:

- Incendio controlado por la ventilación.
- Humo y gases de combustión relativamente “fríos” $T < 600^{\circ}\text{C}$.
- La presencia de espacios vacíos, sobre todo si están interconectados.
- Elementos estructurales combustibles.
- La filtración de cantidades significativas de humo en compartimentos no afectados por el fuego dentro de la estructura.

CAPITULO II: METODOLOGIA

2.1- HERRAMIENTA PARA LA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS (SOLAS CAPÍTULO II-2)

El convenio SOLAS contiene un capítulo totalmente dedicado a todo lo referente en la lucha contra incendios a bordo. Este es el Capítulo II-2.- PREVENCIÓN, DETECCIÓN Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS, cuya última actualización se realizó a finales del año 2001 y se encuentra en vigor desde 1 de Julio de 2002. En el año 2007 se revisa y se enmienda, siendo una parte de estas enmiendas obligatorias a partir del año 2008 y el resto en su totalidad a partir del 2010. El 25 de mayo de 2012 se adoptan a través de la resolución MSC.327, nuevas enmiendas relativas al Capítulo 6 (Sistemas fijos de extinción de incendios a base de espuma) y al Capítulo 8 (Sistemas automáticos de rociadores, de detección de incendios y de alarma contra incendios) que han entrado en vigor este año el 1 de Enero de 2014.

El Código completo consta de 15 capítulos:

- Capítulo 1: Generalidades.
- Capítulo 2: Conexiones internacionales a tierra.
- Capítulo 3: Protección del personal.
- Capítulo 4: Extintores de incendios.
- Capítulo 5: Sistemas fijos de extinción de incendios por gas.
- Capítulo 6: Sistemas fijos de extinción de incendios a base de espuma.
- Capítulo 7: Sistemas fijos de extinción de incendios por aspersión de agua a presión y por nebulización.
- Capítulo 8: Sistemas automáticos de rociadores, de detección de incendios y de alarma contra incendios.
- Capítulo 9: Sistemas fijos de detección de incendios y de alarma contra incendios.
- Capítulo 10: Sistemas de detección de humo por extracción de muestras.
- Capítulo 11: Sistemas de alumbrado a baja altura.
- Capítulo 12: Bombas fijas de emergencia contra incendios.
- Capítulo 13: Disposición de los medios de evacuación en los buques de pasaje.

- Capítulo 14: Sistemas fijos a base de espuma instalados en cubierta.
- Capítulo 15: Sistemas de gas inerte.

En cada capítulo se establece el ámbito de aplicación y las especificaciones técnicas de cada sistema y equipo.

2.2- EL CONVENIO DE FORMACIÓN STCW

En el año 1978, nace bajo el auspicio de la OMI el convenio internacional sobre normas de formación, titulación y guardia para la gente de mar, más conocido como Convenio de Formación o STCW (Standards of Training Certification and Watchkeeping for Seafarers). Es el principio en cuanto a la unificación de la formación marítima a nivel internacional y en especial a la formación en seguridad contra incendios. Este convenio entró en vigor en 1984 y posteriormente fue modificado significativamente tanto en el año 1995 (STCW 95), como en el año 2010 en la conferencia celebrada en Manila (Manila 2010), siendo esta la última modificación vigente hasta la fecha.

El Convenio establece normas mínimas relativas a la formación, titulación y guardia para la gente de la mar, que los países están obligados a cumplir, con el único fin garantizar que los marinos sean conscientes de los riesgos que supone trabajar en un buque y puedan responder adecuadamente en caso de emergencia. Para ello se incluye entre sus enmiendas la formación Básica de seguridad que consiste en los siguientes puntos:

- Lucha contra incendios
- Primeros auxilios
- Técnicas de supervivencia
- Seguridad personal
- Responsabilidad social

Cabe indicar además que el convenio de formación Manila 2010 tiene como objetivo la formación específica para el marinero de puente y máquinas, estableciendo una carrera profesional. Además de contemplar una novedad sumamente importante, que es la estratificación en tres niveles de la “gente de mar”, en atención a su funcionalidad, responsabilidad y formación, siendo estos tres niveles: Gestión, Operacional y de Apoyo.

El convenio de formación Manila 2010, se estructura de la siguiente forma:

- **Capítulo I:** *Disposiciones Generales:* Prevención de prácticas fraudulentas: bases electrónicas de títulos y Certificados. Mecanismo de evaluación y seguimiento del Convenio. Normas de aptitud médica y aptitud física de la Gente de mar, en línea con el Convenio sobre el Trabajo Marítimo, MLC 2006 (OIT Organización Internacional del Trabajo, 2006).
- **Capítulo II:** *El Capitán y la sección de puente.* Formación en navegación astronómica, radar, GPS, etc. Requisitos de formación para el marinero de puente. Liderazgo y trabajo en equipo. Tráfico marítimo.
- **Capítulo III:** *Sección de Máquinas:* actualización competencias maquinistas. Requisitos para la formación del marinero de máquinas. Liderazgo y trabajo en equipo. Prevención de la contaminación marina.
- **Capítulo IV:** *Radiocomunicaciones:* buques obligados al GMDSS y no. Figura del Radio operador.
- **Capítulo V:** *Requisitos especiales de formación para el personal de determinados buques:* se incluyen todos los buques tanque, incluso los que transporten gas licuado. En relación a los buques de pasaje se incluyen los” buques de pasaje de transbordo

rodado” para englobar todos los barcos de pasaje. Navegación polar, en línea con el Código (Proyecto) OMI del Código Polar.

- **Capítulo VI:** *Funciones de emergencia, seguridad en el trabajo, atención médica y supervivencia:* normas de protección, prevención de actos ilícitos a bordo y formación específica para el riesgo de ataques por piratas. Mecanismos de respuesta.
- **Capítulo VII:** *Titulación Alternativa:* Convalidaciones, equivalencias y exenciones.
- **Capítulo VIII:** *Guardia de Navegación:* actualización sobre horas de trabajo y descanso. Prevención del abuso de drogas y alcohol.

CAPÍTULO III: DESARROLLO

3.1- DISEÑO DEL CURSO DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE INCENDIOS EN ESPACIOS CONFINADOS

En el Capítulo I, de este Trabajo Fin de Grado, se han desarrollado las situaciones que se pueden producir cuando el fuego declarado en los compartimentos y espacios confinados del buque, tenga un comportamiento extremo y violento. Este tipo de situaciones es fácil que se puedan desarrollar a bordo, dadas las características estructurales, de construcción y de compartimentación que tiene un buque.

Para evitar este tipo de situaciones los buques disponen de sistemas de extinción automáticos que son bastante eficaces en la lucha contra incendios. Sin embargo estos sistemas extinción no pueden llegar ni a todos los compartimentos ni a todas las estructuras del buque, además de que en un momento puntual pueden fallar o no ser capaces de controlar un incendio, como así ha sucedido en multitud de siniestros a lo largo de la última década en el sector marítimo.

Por lo tanto el control de un incendio en una estructura confinada necesita que los equipos de extinción dispongan de una formación y preparación adecuada con un conocimiento más profundo del comportamiento del fuego en este tipo de condiciones. Ya que no es lo mismo enfrentarse a un fuego en una zona exterior donde hay posibilidades de maniobra, donde hay visibilidad, donde no es necesario la utilización de equipos de respiración autónoma y donde el calor se disipa en el ambiente. Que enfrentarse a un fuego en un recinto de dimensiones limitadas, donde no hay apenas visibilidad, donde es necesario la utilización de equipos de respiración autónoma y donde el calor no se disipa en el ambiente.

Tras reseñar la importancia que tiene la formación y la preparación adecuada de los equipos de extinción para el control de incendios en estructuras confinadas, considero que los cursos de formación para este tipo de incendios que establece actualmente el convenio de formación STCW, tienen un déficit evidente en el estudio de las situaciones que se pueden producir por el comportamiento extremo y violento del fuego en espacios

confinados, ya que establecen una serie de conceptos generalistas en lo referente al control y a la extinción del fuego, con una carga lectiva francamente escasa en lo referente al contenido práctico.

Una vez expuesto todo lo anterior, debo indicar que el objetivo fundamental que de este curso, es que se dé la suficiente importancia al problema que puede suponer que un fuego declarado en los espacios confinados del buque se comporte de forma extrema y violenta.

Para ello vamos a diseñar un curso de especialización de fuego en compartimentos y estructuras confinadas, en el que se aumentará considerablemente los conocimientos con respecto al estudio de situaciones en las que el fuego tenga este tipo de comportamiento, a fin de mejorar la preparación de los equipos de extinción y reducir así el riesgo para el personal. El curso estará basando en el método aprendizaje que se imparte en los cursos contra incendios IMO STCW2010 y la estructuración de la carga a lectiva se equipará a la de los certificados en la lucha contra incendios exigidos por el STCW2010.

3.1.1- METODO DE APRENDIZAJE EN LOS CURSOS CONTRA INCENDIOS IMO STCW2010.

En primer lugar debemos indicar que la forma de transmitir los conocimientos y la formación necesaria en este tipo de cursos, se hace fundamentalmente a través del estudio y la práctica. Ya que todos los cursos homologados por la organización marítima internacional OMI destinados a la gente del mar, se fundamentan en la trasmisión de los conocimientos de una forma teórico-práctica, llegando incluso a reforzarse con un incremento de las horas de hasta el 50% con relación a la duración total del curso, las cuales son destinadas a prácticas tanto en la mar como en campos de fuego especializados.

La organización marítima internacional OMI establece las disposiciones formativas de estos cursos en base a lo estipulado en el Convenio Internacional de Formación y Titulación para la Gente de Mar (STCW2010),

el cual fue rediseñado y actualizado en la Conferencia Diplomática Internacional de Manila celebrada en el año 2010. Dichas disposiciones formativas, se encargan por ejemplo de regular los grupos de alumnos en los cursos, así por norma general se establece que cada grupo de alumnos este conformado por un máximo de 10 integrantes, y a su vez este asignado como mínimo un profesor- instructor debidamente formado y cualificado en la materia que va a impartir.

3.1.2- CERTIFICADOS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS EXIGIDOS POR EL STCW2010

En la actualidad los marinos reciben formación en lucha contra incendios a través de dos cursos establecidos por el Convenio de Formación, como son:

- **CERTIFICADO DE FORMACIÓN BÁSICA EN SEGURIDAD**

Referencias: Regla VI/1 de convenio STCW, sección A-VI/1-2 y B-VI/1 del Código de Formación. Módulo de prevención y lucha contra incendios y extinción (OMI 1.20).

Este Certificado de Formación Básica en Seguridad es exigible para todo el personal que forma parte de la tripulación de un buque, sea cual sea su cargo o puesto a bordo. Su carga lectiva es de 15 horas teóricas y 7 horas prácticas.

- **CERTIFICADO AVANZADO DE LUCHA CONTRA INCENDIOS.**

Referencias: Regla VI/3 del convenio STCW; sección A-VI/3 y cuadro A-VI/3 del Código de Formación (OMI 2.03).

Este certificado avanzado de Lucha Contra incendios va dirigido al personal con responsabilidades a bordo como son el capitán y los oficiales. Además de incluir a los tripulantes con responsabilidades en la lucha contra incendios a bordo. Su carga lectiva está repartida en 12 horas teóricas y 12 horas prácticas.

3.2- CURSO DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE INCENDIOS EN ESPACIOS CONFINADOS

Para el diseño de este curso me voy a basar en la estructura de un curso modelo homologado por la organización marítima internacional (OMI), como es el Certificado Avanzado de Lucha Contra Incendios.

Este curso de formación va a tratar sobre el desarrollo del fuego en los espacios confinados, en donde siempre existe una probabilidad muy elevada de que este se comporte de forma extrema y violenta, dando lugar a situaciones de flashover, backdraft y explosiones de humos.

3.2.1- FINALIDAD DEL CURSO

La razón de diseñar este curso es conseguir una formación más especializada del personal, para conocer las características de este tipo de incendios, con el fin de saber reconocer los síntomas y signos que hagan predecir cuándo y cómo se va a producir, y poder aplicar así las medidas de control y de ataque más efectivas, generando una mayor seguridad para el personal de intervención.

3.2.2- OBJETIVOS DEL CURSO

Los objetivos del curso están dirigidos a que el alumno alcance el grado de conocimientos adecuados en la comprensión de la combustión y sus procesos, identificación de los componentes del fuego, reconocimiento de signos e indicadores de comportamiento extremo y su interpretación, valorar el peligro térmico en el interior de estructuras, que sepa valorar el estado de desarrollo al llegar a un incendio, es decir realizar una valoración dinámica del riesgo maximizando la seguridad de los equipos de intervención.

Las competencias que se desarrollarán están dirigidas a controlar de forma segura y efectiva incendios en espacios confinados que tienen el potencial de producir situaciones de comportamientos extremos del fuego. Hacer un uso efectivo del agente extintor, conociendo perfectamente la forma de utilización en situaciones de este tipo. Aprender a identificar el

desarrollo del fuego en función de la altura del plano neutro. Reconocer los síntomas de un Flashover. Entender las diferencias entre fuego controlado por el combustible o por la ventilación. Reconocer los síntomas de un Backdraft. Diferenciar entre Backdraft y explosión de humos.

3.2.3- REQUISITOS PREVIOS DE INGRESO

Personas que estén en posesión del Certificado Avanzado de Lucha Contra Incendios, es decir, el personal con responsabilidades a bordo como son el capitán y los oficiales, además de incluir a los tripulantes con responsabilidades en la lucha contra incendios.

3.2.4- CERTIFICACIÓN

Una vez que el alumno concluya el curso con éxito, se expedirá un documento que certifique que el titular del mismo, ha alcanzado los niveles de competencia establecidos en el cuadro A-VI/3 del Código de Formación Manila/2010.

3.2.5- NUMERO DE ALUMNOS

El número máximo de alumnos por curso no será superior a 20 personas. Estando repartidos los alumnos en dos grupos de 10 personas cada uno, con un profesor- instructor asignado para cada grupo, el cual estará debidamente formado y cualificado en la materia que va a impartir.

3.2.6- DURACIÓN

La duración mínima del curso será de 18 horas lectivas, repartidas en dos días, de las cuales 8 horas estarán destinadas a la teoría y al laboratorio de incendios, y las 10 horas restantes estarán destinadas a prácticas en campo de fuego.

3.2.7- PROGRAMA

El programa de este curso se impartirá en dos días, repartiéndose las horas entre teoría y práctica de la siguiente forma.

1.-PRMER DIA DE PRÁCTICAS

3 horas de teoría y 1 hora de prácticas de laboratorio. A continuación se realizarán 5 horas de prácticas de campo.

TEORIA

Tema 1

- La Combustión.
- Características de los elementos del triángulo del fuego.
- Procesos de combustión.

Tema 2

- La Pirólisis.
- Fundamentos para el análisis de un incendio, indicadores y síntomas.

Tema 3

- Características del comportamiento de los indicadores del fuego.

Tema 4

- Flashover.

Tema 5

- El ambiente térmico.

Conocimientos adquiridos

Al finalizar los temas teóricos, los alumnos habrán alcanzado conocimientos, comprensión y suficiencia sobre cómo se produce la combustión y como se desarrollan sus procesos. Entenderán perfectamente el proceso de la pirólisis y cuáles son los gases resultantes de la misma. Conocerán cuales son los indicadores y síntomas que nos facilitan la

interpretación de cómo puede evolucionar el fuego. Sabrán diferenciar y estructurar las fases de un incendio y conocer las características de cada una de ellas y de qué forma se deriva hacia un comportamiento extremo del fuego. Comprenderán la importancia y peligrosidad que puede tener el ambiente térmico en el que se desenvuelven las tareas de lucha contra incendios para el desarrollo del fuego y el cuerpo humano.

PRACTICAS

Prácticas de laboratorio

Práctica 1

- Proceso de pirólisis de combustibles sólidos, utilizando matraz específico, observando todo el proceso, destilación, productos de combustión e inflamación de vapores.

Práctica 2

- Demostración mediante urna de explosiones, diseñada al efecto, de la aparición y efectos de un flashover.

Prácticas en Campo de Fuego

Práctica 1

- Demostración de los efectos de los humos y los gases de incendio en maqueta (casa de muñecas) con una estructura simple de 2 plantas.
- Visualización de la transmisión del calor, y la propagación del incendio.
- Efectos de la ventilación.

Práctica 2

- Uso efectivo del agua en incendios de interiores.
- Método de pulsaciones.
- Técnica de ataque ofensivo.

Práctica 3

- Flashover de demostración, desarrollo, indicadores y signos. Visualización de efectos y valoración del ambiente térmico.

Competencias adquiridas

A la finalización de las prácticas del primer día, los alumnos habrán adquirido las competencias y destrezas necesarias para evaluar correctamente el proceso de un incendio en espacios confinados, reconociendo los procesos de pirólisis, transmisión de calor y propagación del fuego. Habrán aprendido a utilizar correctamente y de forma efectiva el agua en espacios confinados, comprendiendo el porqué de la técnica de pulsaciones. Reconocerán los indicadores y signos que nos informan de la evolución del fuego, habiendo visto desde dentro, el proceso de un incendio desde la fase de inicio hasta la generación de un flashover, comprendiendo su desarrollo y características. Comprenderán la importancia del equipo de protección personal y su buena utilización en estas circunstancias de ambiente térmico al que han sido expuestos y hasta donde nos permite llegar el calor al que estamos sometidos.

2.-SEGUNDO DIA DE PRÁCTICAS

3 horas de teoría y 1 hora de práctica de laboratorio. A continuación se realizarán 5 horas de prácticas de campo.

TEORIA

Tema 6

- Desarrollo del incendio dentro de un compartimento.
- Factores de influencia.

Tema 7

- Fases del desarrollo de un incendio en estructuras interiores.
- Características y evolución hacia comportamientos extremos.

Tema 8

- La importancia de un fuego controlado por la ventilación.

Tema 9

- Backdraft.
- Explosión de Humos.

Conocimientos adquiridos

Los alumnos serán capaces de conocer y valorar las fases desarrollo del fuego en espacios confinados así como los factores de influencia. Aprender a identificar el desarrollo del fuego en función de la altura del plano neutro. Reconocer perfectamente los síntomas de un Flashover. Entender las diferencias entre fuego controlado por el combustible o controlado por la ventilación. Reconocer los síntomas de un Backdraft y valorar la situación. Diferenciar entre Backdraft y explosión de humos.

PRACTICAS

Prácticas de laboratorio

Práctica 3

- Visualización en urna de explosiones de los efectos de un flashover, en función de la mezcla vapores-aire, influencia de la ventilación.

Práctica 4

- Visualización de un Backdraft y una explosión de humos en urna de explosiones. Efectos, consecuencias y diferencias.

Prácticas en campo de fuego

Práctica 4

- Flashover de control de gases.
- Control efectivo de los gases de incendio.

Práctica 5

- Flashover de Ataque.
- Aplicación del método de ataque ofensivo a los gases de incendio.

Práctica 6

- Visualización de Backdraft en contenedor.

Competencias adquiridas

A la finalización de las prácticas del segundo día, los alumnos habrán adquirido competencias en la técnica adecuada de aplicación de agua al colchón de gases. Conocerán las técnicas de control de un flashover si se produce y tendrán destreza en el manejo de los chorros de agua, para el enfriamiento de los gases y los humos. Podrán aplicar la técnica de ataque ofensivo en el interior de espacios confinados. Sabrán determinar y prever la aparición de un Backdraft, conociendo perfectamente sus indicadores.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

PRIMERA: El desarrollo de comportamientos extremos del fuego en un incendio, es un factor de alta peligrosidad tanto para el buque, como para su tripulación, ya que implica unas condiciones de calor radiante y temperatura muy extremas, que pueden afectar a la integridad estructural del mismo y propagarse con gran facilidad.

SEGUNDA: Dadas las características estructurales de construcción de un buque, en cuanto a materiales y compartimentación, la probabilidad de que se produzcan estos fenómenos de comportamiento extremo, es alta.

TERCERA: La aparición de comportamiento extremo del fuego, en un incendio, genera ambientes no compatibles con la vida. Es necesario saber reconocer los indicadores que el fuego nos envía. La rapidez con la que puede producirse el fuego y sus consecuencias a bordo, hace que sea prioritario saber anticiparse a la situación.

CUARTA: Es necesario que las personas que forman parte de los equipos de lucha contra incendios, reciban una formación específica y especializada sobre el tema, para ganar en capacidad de reacción y enfrentarse a estas situaciones con seguridad.

QUINTA: El aprendizaje en el desarrollo de trabajos colaborativos, generan éxito en el aprendizaje de los alumnos ya que el aprendizaje se realiza como un proceso eminentemente social. Este aspecto, es una característica de los cursos I.M.O. de contra incendios, sobre el cual se ha basado el diseño de este módulo formativo complementario.

SEXTA: La formación en Contra Incendios de los marinos, en la actualidad, es una formación con contenidos generalistas, en los que se intenta abarcar mucho, en un corto espacio de tiempo. Un módulo formativo complementario como el que hemos diseñado, complementa el diseño curricular de un oficial de seguridad a bordo, así como del personal con responsabilidades en contra incendios en las instalaciones de tierra.

CAPÍTULO V: BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- NFPA. (2009). *Manual de Protección contra Incendios* (Quinta ed.). Madrid: Cepreven.
- OIT Organización Internacional del Trabajo. (2006) Convenio sobre el Trabajo Marítimo. MLC, 2006. Ginebra.
- OMI. (1948). Convenio Constitutivo de la Organización Marítima internacional. Ginebra.
- OMI. (2009). *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS 74)* (Quinta ed.). Londres: OMI.
- TEPESA. (2010). *Manual de Intervención en Fuegos de Interiores* (Segunda ed.). Brunete: Tepesa.
- Bryner, N. M. (2009). *Performance of thermal exposure sensors in personal alert safety system (PASS) devices, NISTR 7294*. Recuperado el 27 de Julio de 2014, de: http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/NIST_IR_7294.pdf.
- Bukowski, R. a. (1996). Modeling a backdraft incident: The 62 watts street (NY) fire. *Fire Engineers Journal* (1), 14-17.
- Grimwood, P. (2008). *Euro Firefighter* (Primera ed.). Yorkshire: Jeremy Mills Publishing Limited.
- IMO. (2012). International Code for Fire Safety Systems. Resolution MSC.327(90) with amendments May 2012. London.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT. (2014). Fichas Internacionales de Seguridad Química. Madrid: Ministerio de Trabajo e Inmigración.
- López, E. (2013). *Curso Práctico de Extinción de Incendios* (Tercera ed.). Brunete: Tepesa.
- Blesa, J. M. (2003). *Flashover: desarrollo y control*.
- CIS (2012). *Manual de intervención en incendios en espacios confinados*.

SEGANOSA (2013). *Curso avanzado en la lucha contra incendios*.

Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. (2005). *Manual Básico del Bombero*.

Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. (2002). *Desarrollo y Control de Incendios en Interiores*.

Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. (2002). *Emergencias 112 Larrialdiak*.

ADAMS (2007). *Bomberos*

José Antonio Romero Rodríguez (2013). *El Libro Rojo del Bombero*.

Enric Jané Calleja (2005). *La peritación en el Siniestro de Incendios*.

Agencia EFE (2015). Artículos.

Nuestro Mar News (2012). Artículos.

Aviso responsabilidad UC

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.”