

3ª edición

Julio 2026

Los Agentes Extintores

El Agua



Material no apto para la venta.

Ing. Néstor Adolfo BOTTA



www.redproteger.com.ar

*"A lo suyo vino,
y los suyos no le recibieron.
Mas a todos los que le recibieron,
a los que creen en su nombre,
les dio potestad de ser hechos hijos de Dios;
los cuales no son engendrados de sangre,
ni de voluntad de carne,
ni de voluntad de varón,
sino de Dios."*

Juan 1:11-13



EL AUTOR

Néstor Adolfo BOTTA es Ingeniero Mecánico recibido en el año 1992 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata; Ingeniero Laboral recibido en el año 1995 en la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Plata; Diplomado en Ergonomía recibido en el año 2018 en la Facultad de Química e Ingeniería del Rosario de la Pontificia Universidad Católica Argentina; y Diplomado en Sistemas Integrados de Gestión recibido en el año 2021 en la Universidad Nacional de Lomas de Zamora.

Estudiante de la Diplomatura en Teología en el Instituto Bíblico Río de La Plata desde el 2022.

Es el Titular de la empresa Red Proteger, empresa dedicada a la Capacitación y Divulgación de conocimientos en materia de seguridad e higiene en el trabajo (www.redproteger.com.ar).

Desarrolló funciones como Responsable de Higiene y Seguridad en el Trabajo en empresas como SOIME SRL, TRADIGRAIN ARGENTINA SA, AMANCO ARGENTINA SA, MOLINOS RÍO DE LA PLATA SA y SEVEL ARGENTINA SA.

Asesoró a diversas empresas entre las que se destacan AKZO NOBEL SA, CERVECERÍA Y MALTERÍA QUILMES SAICAYG y APACHE ENERGÍA ARGENTINA SRL.

Su extensa actividad docente lo ubica como:

- Profesor Titular en el Instituto Superior Federico Grote (Rosario – Santa Fe) para la Carrera de “Técnico Superior en Seguridad e Higiene en el Trabajo” para las asignaturas de Higiene y Seguridad en el Trabajo I, Seminario Profesional, Prevención y Control de Incendios II, y Prevención y Control de Incendios I.
- Profesor en la UCA de Ing. de Rosario para la Carrera de Posgrado de Higiene y Seguridad en el Trabajo en la asignatura de Riesgo y Protección de Incendios y Explosiones.
- Profesor Titular en la Universidad Nacional del Litoral para la Carrera de Técnico en Seguridad Contra Incendios en la asignatura de Seguridad Contra Incendios III. Sistema de educación a distancia.
- Profesor en la Universidad Nacional del Litoral - Sede Rosario, para la Carrera de Lic. en Seguridad y Salud Ocupacional en la asignatura de Práctica Profesional.
- Profesor Interino Cátedra “Elementos de Mecánica”. Carrera “Técnico Superior en Seguridad e Higiene en el Trabajo”. ISFD Nro. 12 La Plata – 1.996
- Ayudante Alumno Cátedra “Termodinámica”. Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ingeniería.
- Ayudante Alumno Cátedra “Análisis Matemático”. Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ciencia Económicas.

Datos de Contacto

e-mail: nestor.botta@redproteger.com.ar

ÍNDICE

- 1) ¿Cómo Entender a un Agente Extintor?
- 2) Principios de Extinción del Fuego
- 3) Hablando del Agua
- 4) Ventajas del Agua Como Agente Extintor
- 5) ¿Porque Usamos Agua para Apagar un Incendio?
- 6) Etapas de Absorción de Calor del Agua
- 7) La Lucha del Agua Contra el Fuego
- 8) Mecanismos de Extinción del Agua
 - 8.1) Extinción por Enfriamiento
 - 8.2) Extinción por Acción Sofocadora o Bloqueadora del Oxígeno
 - 8.3) Líquidos Miscibles y No Miscibles en Agua
 - 8.4) Densidad del Líquido
 - 8.5) Extinción por Dilución
 - 8.6) Extinción por Emulsificación
 - 8.7) Apantallamiento de la Radiación
 - 8.8) El Efecto del Agua Pulverizada
- 9) Limitaciones del Agua Como Agente Extintor
 - 9.1) El Agua Contra Combustibles Líquidos Livianos No Miscibles en Agua
 - 9.2) Derrame por Ebullición (Boilover)
 - 9.3) Derrame Superficial (Slopover)
 - 9.4) Derrame por Espumación (Frothover)
 - 9.5) Limitaciones Impuesta por la Conductividad Eléctrica
 - 9.6) Los Efectos de la Tensión Superficial Sobre el Agua
 - 9.7) Limitaciones Impuestas por la Reactividad con Ciertos Materiales
 - 9.8) Limitaciones Impuestas por la Temperatura de Congelamiento
- 10) Tipos de Combustibles

1) ¿CÓMO ENTENDER A UN AGENTE EXTINTOR?

Entender un agente extintor implica realizar un recorrido de al menos los siguientes aspectos:

- **¿Qué es el Agente Extintor?**

Se trata de describir cuáles son las características fisicoquímicas más relevantes en relación al funcionamiento como agente extintor.

Esto va a permitir comprender ciertos comportamientos al momento de interactuar con el fuego, como así también sus ventajas y principalmente las limitaciones.

- **¿Cómo Apaga?**

No menos importante es indagar sobre cuáles son los mecanismos de extinción, es decir, cómo el agente extintor interactúa con el fuego para controlarlo y apagarlo.

- **¿Cuáles son las Ventajas?**

Saber las ventajas permite elegir el mejor agente extintor para cada situación, no sólo desde el punto de vista técnico y del uso, sino también desde la perspectiva económica.

- **¿Cuáles son las Limitaciones?**

Quizás sea el tema de mayor relevancia a la hora de estudiar y analizar a un agente extintor.

Se puede tener el mejor agente extintor, el más eficiente y eficaz a la hora de apagar, el más fácil de usar, el que más ventajas presenta respecto a otros; pero si no se tienen en cuenta las limitaciones o desventajas que este agente extintor presenta, no sólo podría no apagar un incendio, sino que también podría propagar el incendio, dañar al equipo incendiado más allá de lo esperado, y lo más importante es que el potencial usuario de ese agente extintor puede salir seriamente lastimado.

- **¿Cuáles son los Usos?**

Los agentes extintor se clasifican en este sentido en relación a la capacidad de apagar los distintos tipos o clases de combustibles, o como la bibliografía generalizada da por llamar clases de fuego.

Hay que adentrarse y escudriñar en cada clase o tipo de combustible establecido más allá de la clasificación misma que suele ser tomada como absoluta, dado que hay detalles dentro de cada una que es necesario tener en cuenta para no caer dentro de las limitaciones.

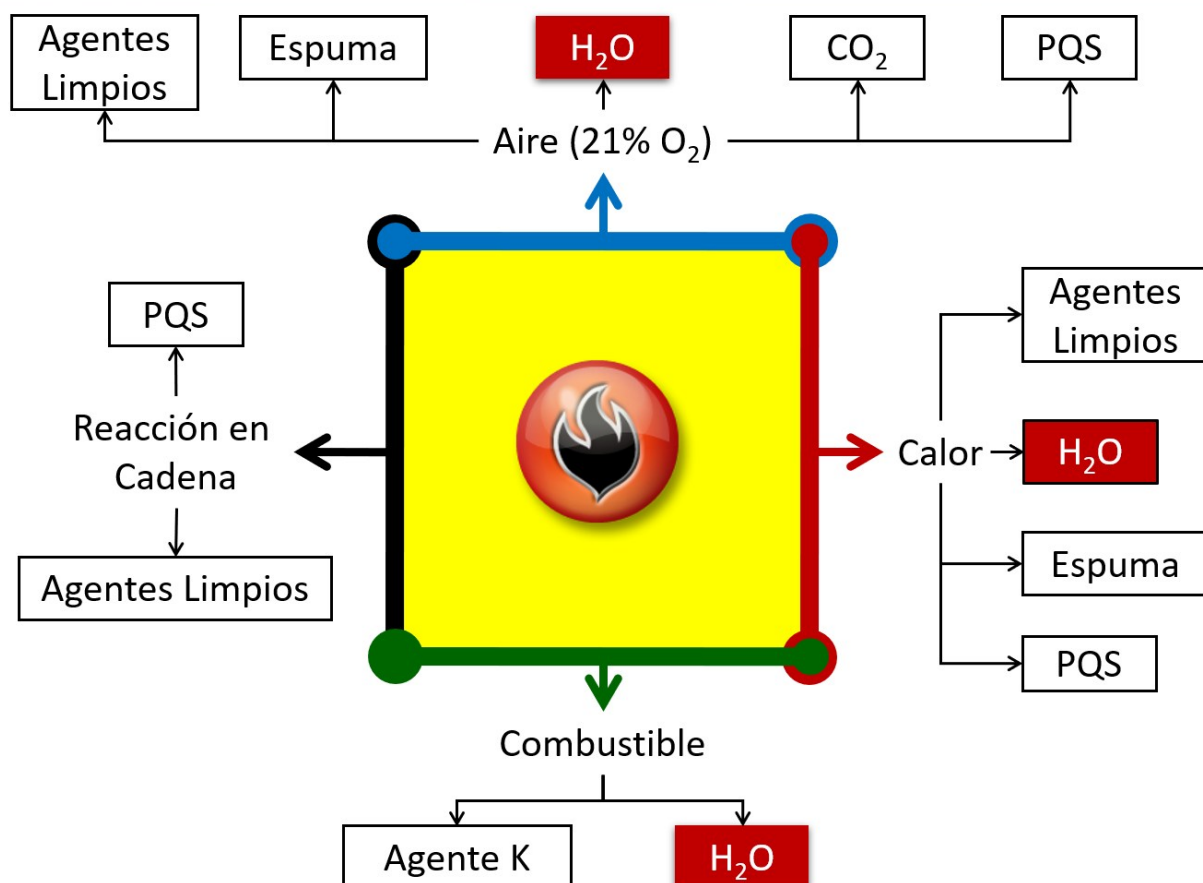
2) PRINCIPIOS DE EXTINCIÓN DEL FUEGO

Cada agente extintor interactúa de manera distinta y especial con el fuego, aunque comparten mecanismos de extinción.

Para entender el tema es necesario recurrir el tetraedro de fuego, qué, por razones didácticas y por tratarse de un material de lectura plano, se hace mejor la visualización usando el “cuadrado” de fuego, que a los fines didácticos cumple con la misma idea; si se rompe el cuadrado, sacando o eliminando algunos de sus lados, la figura se desarma.

Las caras del tetraedro o los lados del cuadro son: combustible, comburente, calor y reacción química en cadena.

Cada agente extintor actúa en una o más de estas caras, con distintas eficacia, según el agente extintor de que se trate.



3) HABLANDO DEL AGUA

El agua es una sustancia líquida (en CNPT) esencial para la vida. Está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, cuya fórmula química es H₂O.

Sus principales características son:

- No tiene color.
- No tiene olor.
- No tiene sabor en estado puro.
- Gran disolvente. Es el "disolvente universal" porque puede disolver muchas sustancias (sales, azúcares, gases).
- Tensión superficial. Forma una "película" en la superficie que permite, por ejemplo, que algunos insectos caminen sobre ella.

- Capilaridad. Puede subir por tubos muy finos o por las plantas, ayudando a transportar nutrientes.
- Alto calor específico. Tarda en calentarse y enfriarse, y regula la temperatura del planeta.

Propiedad	Valor típico	Unidad	Condiciones
Masa molar	18,015	g/mol	—
Densidad	1.000	kg/m ³	4 °C
Calor específico (c)	4,18	kJ/kg K	20 °C
Calor latente de vaporización	2.257	kJ/kg	100 °C
Punto de ebullición	100	°C	1 atm
Punto de congelación	0	°C	1 atm
Expansión líquido a vapor	~1.700	veces	100 °C
Tensión superficial	72 x 10 ⁻³	N/m	20 °C
pH	~7	—	Agua pura

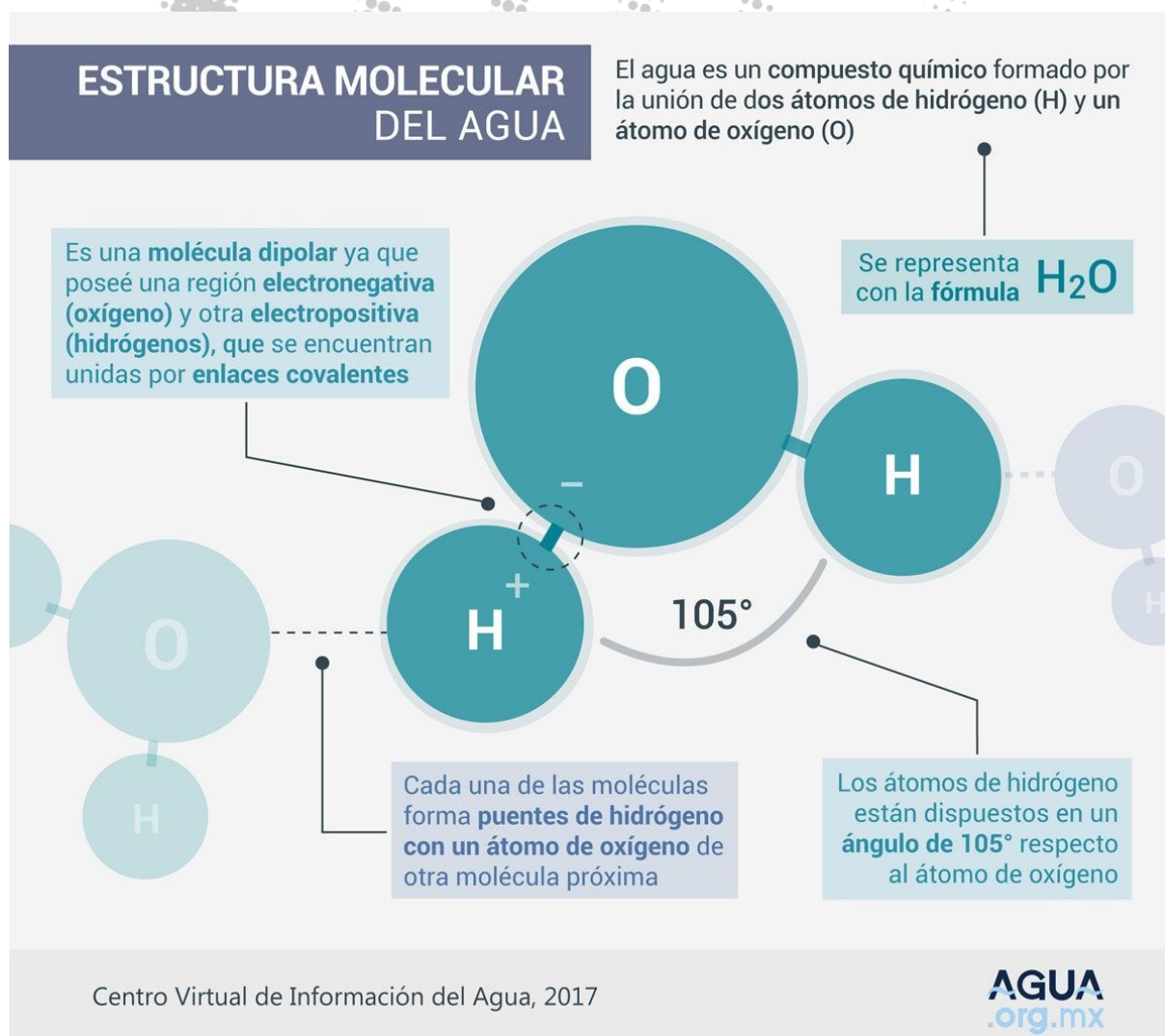
La molécula de agua, cuya formula química es H₂O, está compuesta por dos átomos de hidrógeno, unidos cada uno por un enlace químico covalente¹ a un átomo de oxígeno, el cual es muy electronegativo o afín por los electrones de otro átomo; dando propiedades muy especiales al agua, ya que este es el responsable de la formación de los llamados puentes de hidrógeno² entre las moléculas presentes en una masa³ de este fluido; organizando las moléculas de agua con una orientación espacial adecuada, la cual provee a este fluido cualidades especiales como su punto de ebullición y la densidad en fase sólida.

¹ Un enlace químico es la interacción entre dos átomos mediante los electrones de estos y se dice que esta unión es covalente cuando cada uno de los átomos aporta un electrón para la formación del enlace.

² Un puente de hidrógeno es la interacción electrostática entre un hidrógeno y un átomo de oxígeno, nitrógeno o flúor y se podría ver como un pseudoenlace, pero la energía requerida para el rompimiento de este es menor a la de un enlace químico.

³ El término masa hace referencia a la cantidad de materia y no a la expresión que comúnmente se maneja como peso, el cual es físicamente la fuerza gravitacional que ejerce la tierra sobre la masa de los cuerpos.

Las características especiales del agua se deben básicamente a las interacciones entre una molécula de agua y sus vecinas mediante puentes de hidrógeno, brindando al agua una estabilidad térmica adicional, haciendo entonces que el calor requerido para la transformación de agua líquida a vapor sea muy grande con respecto a muchos otros líquidos; además esta cualidad también es la responsable de la variación en la densidad del agua sólida (hielo) con respecto a la líquida; ya que este tipo de interacción entre las moléculas aumenta la separación entre ellas por un nuevo acomodamiento de toda la estructura y disposición de los átomos en el espacio, incrementando así el volumen ocupado por el grupo de moléculas y por lo tanto disminuyendo la densidad; diferencia por la cual un trozo de hielo flota sobre el agua líquida; es decir, que la densidad del agua sólida es menor a la líquida.



4) VENTAJAS DEL AGUA COMO AGENTE EXTINTOR

- **Gran capacidad de absorber calor:** el agua presenta una elevada capacidad de absorber calor, y es la principal característica por sobre otros agentes extintores.
- **Alta disponibilidad:** el general donde existe la necesidad de apagar un incendio es porque hay actividad humana, sea social o laboral, y por consiguiente hay disponibilidad de agua, aunque a veces su acceso sea complicado.
- **Económica:** en relación a otros agentes extintores el agua se puede considerar un agente extintor económico, tanto sea por su costo, como por sus requisitos de almacenaje y transporte.
- **Fácil de almacenar y transportar:** el agua no presenta grandes dificultades o problemas complicados para almacenarla o transportarla.
- **No es ®:** No es una marca registrada y esto que puede resultar una nimiedad o algo insignificante a la hora de evaluarla como ventaja, resulta que hay otros agentes extintores que sí son marcas registradas, y que su fabricación y uso requiere de autorizaciones, lo que implica, además, un costo adicional.
- **Re usable:** En teoría el agua que se usa en un incendio y que no se evapora, y por consiguiente drena por el suelo al sistema de drenaje, podría ser captada nuevamente y reutilizada sin más que un proceso de filtrado de sólidos.
- **Estable:** no presenta problemas de estabilidad desde el punto de vista fisicoquímico. Puede ser calentada, enfriada, evaporada, solidificada, condensada sin presentar problemas.
- **Bajo nivel de reactividad:** El agua presenta muy bajos niveles de reactividad con los materiales combustibles, al menos con los combustibles más comunes y cotidianos.
- **Bajo nivel de corrosividad:** El agua es corrosiva, pero en comparación con otros agentes extintores y dado además que es líquida en CNPT, se puede decir que el efecto de corrosividad sobre los combustibles que apaga es bajo.

- **No tiene fecha de vencimiento o caducidad:** El agua como agente extintor no vence, no tiene fecha de caducidad.
- **No pierde su capacidad extintora con el tiempo:** En relación con la característica anterior, el agua no pierde su capacidad extintora con el tiempo.
- **Cualquier tipo de agua sirve:** Esta característica esta en relación con las dos anteriores, no sólo no vence o no tiene fecha de caducidad, tampoco pierde su capacidad extintora con el tiempo, sino que quizás la condición más importante entre las tres es que cualquier tipo de agua sirve, salada, dulce, dura, blanda, mineralizada, potable, no potable, destilada, incluso agua sucia o contaminada, el problema de esto último son las cuestiones ambientales.
- **Gran alcance o cobertura:** Un aumento de la presión en la línea de agua no solo incrementa el alcance del chorro, permitiendo cubrir una mayor distancia, sino que también aumenta el caudal. Como consecuencia, el bombero puede operar a una mayor distancia del foco de riesgo, lo que constituye una de las principales medidas de seguridad durante las tareas de extinción.

5) ¿PORQUE USAMOS AGUA PARA APAGAR UN INCENDIO?

El agua tiene una cantidad importante de cualidades que hacen que se la use para apagar incendios, entre ellas, la más sobresaliente tiene que ver con la capacidad de absorber calor.

Considérense cuatro sustancias distintas: agua, arena, hierro y mercurio. Supónganse que se dispone de un kilogramo de cada una de ellas y que todas tienen una temperatura de por ejemplo 20 °C. Se suministra a cada una de esas sustancias de un kilogramo la misma cantidad de calor, por ejemplo, 10 kcal. Esas 10 kcal pueden ser provistas por la combustión total de aproximadamente un gramo de nafta o algo más de un gramo de carbón.

Téngase la amabilidad de admitir que en los cuatro casos todo el calor de combustión pasa del combustible a las sustancias que se quieren calentar con 10 kcal y que no hay pérdida ni disipación de calor.

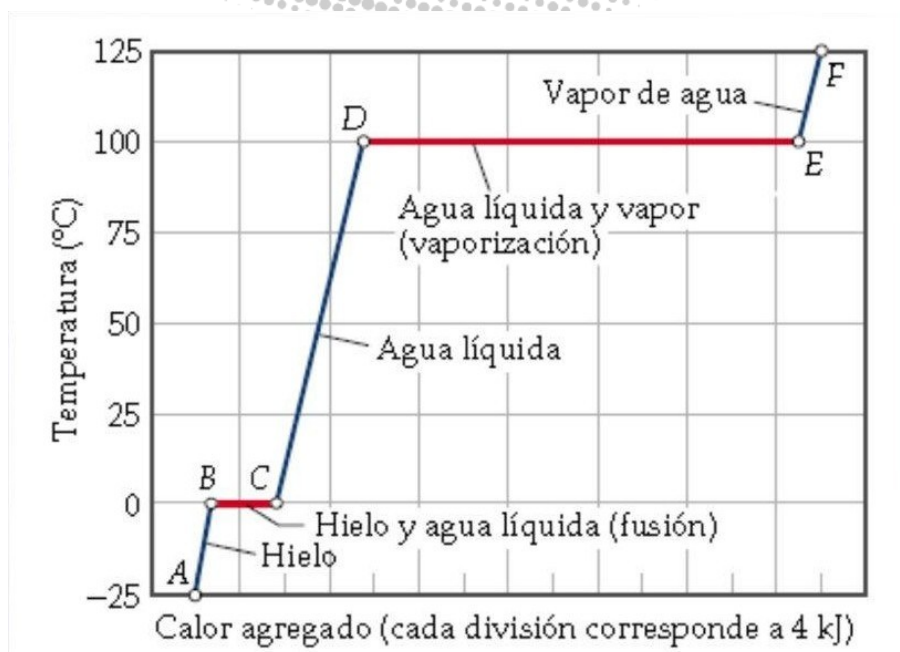
¿Qué ocurre con cada una de las sustancias?

1 kg H ₂ O a 20 °C	+	10 kcal	→	30 °C (diferencia 10 °C)
1 kg Arena a 20 °C	+	10 kcal	→	70 °C (diferencia 50 °C)
1 kg Fe a 20 °C	+	10 kcal	→	113 °C (diferencia 93 °C)
1 kg Hg a 20 °C	+	10 kcal	→	320 °C (diferencia 300 °C)

El experimento ha demostrado que *el agua tiene una **elevada capacidad calórica**, porque puede absorber comparativamente mucho calor sin un gran aumento de su temperatura.*

6) ETAPAS DE ABSORCIÓN DE CALOR DEL AGUA

El agua absorbe calor en dos etapas, al menos en un ambiente abierto y en relación a ésta como agente extintor.



Etapa de calentamiento del agua

En el caso del agua líquida, ésta será calentada desde la temperatura inicial (t_i) hasta el punto de ebullición que tiene un valor de 100 °C (t_f) a una presión de un bar⁴.

El calor requerido para calentar el agua desde la temperatura inicial (temperatura ambiente) hasta llevar a la temperatura de cambio de estado, está dado por la siguiente ecuación:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

en donde:

c = calor específico

Q = cantidad de calor

m = masa

ΔT = diferencia entre las temperaturas inicial y final.

El calor específico o capacidad calorífica específica (c) es la capacidad que tienen las sustancias para incrementar su temperatura en una unidad por unidad de masa, cuando reciben una determinada cantidad de calor, en otras palabras, y llevándolo a un caso concreto, es la cantidad de calor que hay que entregarle a un kilogramo de agua para que ésta eleve su temperatura en un grado centígrado.

Su unidad en el sistema SI es el julio/kilogramo kelvin (J/kg K). También se usa la unidad del sistema técnico, kilocaloría/kilogramo grado celsius (kcal/kg °C).

⁴ Unidad de presión. 1 bar = 1,01325 atmósferas = 14,88 psi.

Si se parte de un kilogramo de agua a 20 °C, para llevarla a 100 °C, o sea, a su punto de ebullición o cambio de estado cuando la presión es normal, se debe entregar la siguiente cantidad de calor:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$Q = 1 \frac{kcal}{kg \text{ } ^\circ C} \cdot 1 \text{ kg} \cdot (100 - 20) \text{ } ^\circ C$$

$$Q = 80 \text{ kcal}$$

Tabla Calor Especifico

Sustancia	Calor Específico (kcal/kg °C)
Agua	1,000
Parafina	0,700
Butano	0,549
Acetona	0,528
Aceite lubricante	0,510
Madera	0,420
Aire	0,240
Tetracloruro de carbono	0,201
Carbón Vegetal	0,165
Vidrio	0,161
Acero	0,113
Cobre metálico	0,091

Etapas de cambio de estado (líquido-vapor)

Cuando el agua líquida alcanza la temperatura de ebullición, otra cantidad de energía en forma de calor es requerida para llevar a cabo la transición de cambio de fase líquida a vapor, fenómeno que se conoce como vaporización y se da a la temperatura de ebullición.

El calor requerido para producir la vaporización completa del agua, está dado por la siguiente ecuación:

$$Q = c_v \cdot m$$

en donde:

c_v = calor de vaporización

Q = cantidad de calor

m = masa

En la tabla se pueden observar los valores típicos de calor de vaporización para algunos líquidos.

Tabla Calor de Vaporización

Sustancia	Calor de Vaporización (kcal/kg)	Temperatura de Ebullición (°C)
Agua	539,6	100
Alcohol etílico	204,0	78,3
Acetona	124,5	56,24
Propano (líquido)	98,0	-42,1
Benceno	94,3	80,10
n-octano (gasolina)	70,9	125,7

Si se prosigue entregando calor al agua que está a 100 °C, ésta continuará absorbiéndolo sin aumentar su temperatura, hasta que la misma se agote por evaporación.

Durante el tiempo que dura la evaporación, este kilo de agua absorbe la siguiente cantidad de calor:

$$Q = c_v \cdot ml$$

$$Q = 539,6 \frac{kcal}{kg} \cdot 1 kg$$

$$Q = 539,6 kcal \cong 540 kcal$$

Resumen:

Etapas de calentamiento del agua

1 kg de agua de 20 °C a 100 °C (agua líquida) ----- 80 kcal

Etapas de cambio de estado (líquido-vapor)

1 kg de agua líquida a 100 °C (vapor a 100 °C) ----- 540 kcal

Total de calorías absorbidas ----- 620 kcal

Estas 620 kcal representan la capacidad refrigerante de un kilogramo de agua cuando se evapora totalmente partiendo de la temperatura ambiente.

Es evidente que si bien el agua en estado líquido exhibe una elevada capacidad calórica y, en consecuencia, un gran poder refrigerante, sólo en el cambio de estado (líquido-vapor) es cuando el agua pone de manifiesto su extraordinaria capacidad de enfriamiento.

Esta mayor energía que necesita el agua para evaporarse se debe a la unión molecular mediante puente de hidrógeno, que, como es una unión muy fuerte, se necesita de mucha energía (calor) para romper esa unión y así poder separar las moléculas y pasar el agua a estado de vapor.

Tabla 1

Fuego Típico	kg/min m²	kcal/min m²
Fuego en estructura, valor promedio	1,95	8.100
Fuego en estructura, valor máximo	7,8	32.400
Fuego en un horno a carbón	4,4	32.400
Fuego en tanque abierto (comb. líq.)	4,9	38.000

Si se admite que la extinción con agua depende del suministro de ese agente a una velocidad apropiada para absorber todo el calor, el cálculo sobre la base del calor específico del agua y su calor de vaporización conduce a los valores de la siguiente tabla.

Tabla 2

Liberación total de calor (kcal/min m²)		Agua (litro/min m²)	
		De 15°C a 100°C	De 15°C a vaporización total
Fuego estructural (promedio)	8.100	97,5	13
Fuego estructural (máximo)	32.400	390	52
Fuego en horno a carbón	32.400	390	52
Fuego en tanque abierto	38.000	455	60,5

A golpe de vista resultan valores de consumo de agua excesivos y fuera de la realidad, tal como la experiencia lo comprueba.

Según la estimación hecha sobre la base de la teoría de la "absorción total del calor", habría que admitir que el control de un fuego producido en un edificio de 20 x 30 metros (600 m²), con un potencial combustible en el valor máximo, exigiría una descarga de agua de aproximadamente (52 x 600 = 31.200 litros/min o 31,2 m³/min), siempre y cuando no se derrame ni se perdiera nada de agua y toda su masa se convirtiera en vapor.

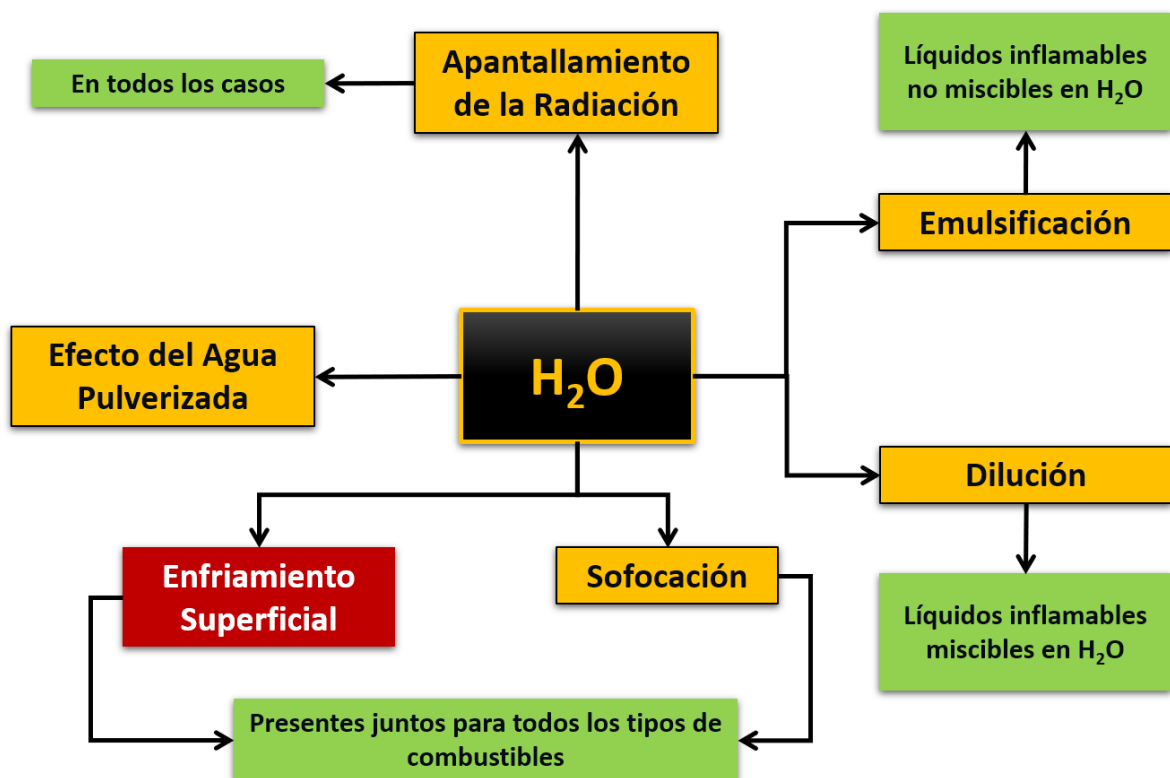
Se sabe perfectamente que un fuego semejante se controla con cantidades de agua muy por debajo de esos valores.

La conclusión es que la teoría de la absorción total del calor es incompleta, porque, por sí sola no puede dar una explicación a este absurdo.

8) MECANISMOS DE EXTINCIÓN DEL AGUA

Como se vio en el punto anterior el agua no sólo apaga enfriando, sino que utiliza otros mecanismos de extinción al mismo tiempo; estos son:

- Extinción por Enfriamiento Superficial.
- Extinción por Acción Sofocadora.
- Extinción por Dilución.
- Extinción por Emulsificación.
- Apantallamiento de la Radiación.
- El Efecto del Agua Pulverizada.



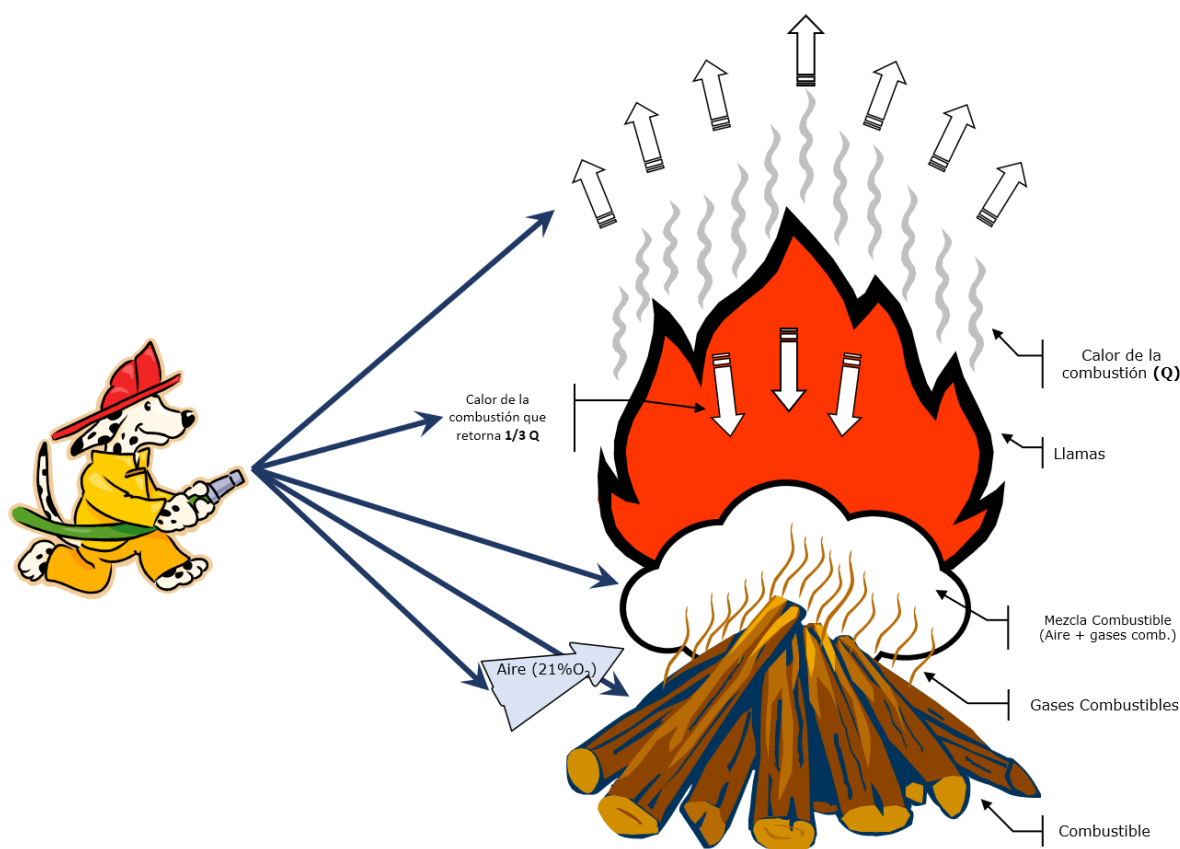
Los dos primeros mecanismos actúan siempre juntos, cualquiera sea el tipo de combustible, y participan en proporciones que dependen del tipo de combustible,

de la magnitud de la combustión y del confinamiento de la combustión. El tercer y cuarto están presentes en combustibles del tipo líquidos y no actúan juntos.

8.1) Extinción por Enfriamiento

En este punto se procederá a explicar el mecanismo de enfriamiento; para comprender el proceso de “enfriamiento superficial” o por qué el agua apaga solo en forma superficial hay que adentrarse en una de las limitaciones del agua que la genera la tensión superficial.

La combustión es un proceso en donde el calor juega el papel más importante, si se logra absorber suficiente calor como para romper el equilibrio calórico que necesita la combustión, se apaga por enfriamiento.



El agua como agente extintor y sacando a relucir su gran capacidad para absorber calor, actúa en varios lugares del proceso de la combustión a la vez, y en cada uno de estos lugares realizará lo que mejor sabe hacer, absorbe calor.

Si pudiéramos imaginar un ataque al fuego en forma quirúrgica, es decir haciendo un análisis desde la teoría, el agua trabajará sobre los siguientes lugares del proceso de la combustión:

- 1)** Absorbe parte del 2/3 del calor que se pierde por convección y radiación, que en realidad no se pierde, porque “rebota” en las paredes y techos y retorna al proceso de la combustión.
- 2)** Actúa absorbiendo o captando el calor que genera la propia llama, que llega al combustible mediante el proceso de radiación, para evitar que éste llegue al combustible y pueda seguir generando gases combustibles.

El calor juega el papel más importante en el proceso de la combustión, así que toda porción de calor que se le pueda quitar al proceso de la combustión aporta y colabora en el proceso de extinción.

- 3)** Actúa absorbiendo calor a la mezcla combustible o inflamable para reducir su temperatura, y en especial lograr bajarla por debajo de la temperatura ignición.

Si la mezcla está por debajo de la temperatura de ignición, esta se apaga, independientemente de la existencia de una fuente de calor y de que la mezcla esté dentro del rango de inflamabilidad.

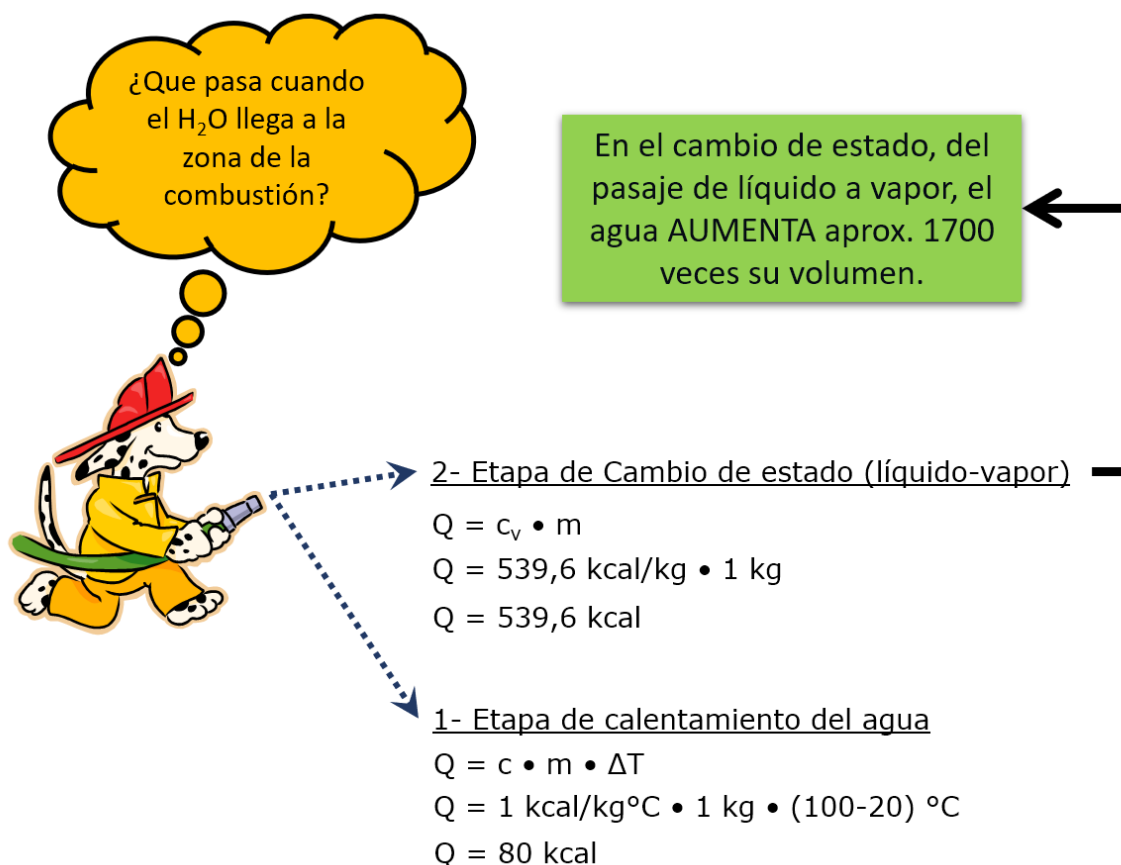
- 4)** Actúa absorbiendo calor al combustible, si se enfría el combustible produce menos gases combustibles, y si hay menos gases combustibles en la mezcla combustible, se produce una llama de menor energía y que generará menos calor.

El agua absorberá calor del material combustible para enfriarlo por debajo de la temperatura a la cual no suministrará suficiente cantidad de gases combustibles como para soportar la combustión, es decir por debajo del LII.

- 5) El agua enfría el medio ambiente y con ello el aire que ingresa a la mezcla combustible. Si el aire ingresa más frío a la mezcla combustible, aporta al enfriamiento y a la reducción de la temperatura de la misma.

8.2) Extinción por Acción Sofocadora o Bloqueadora del Oxígeno

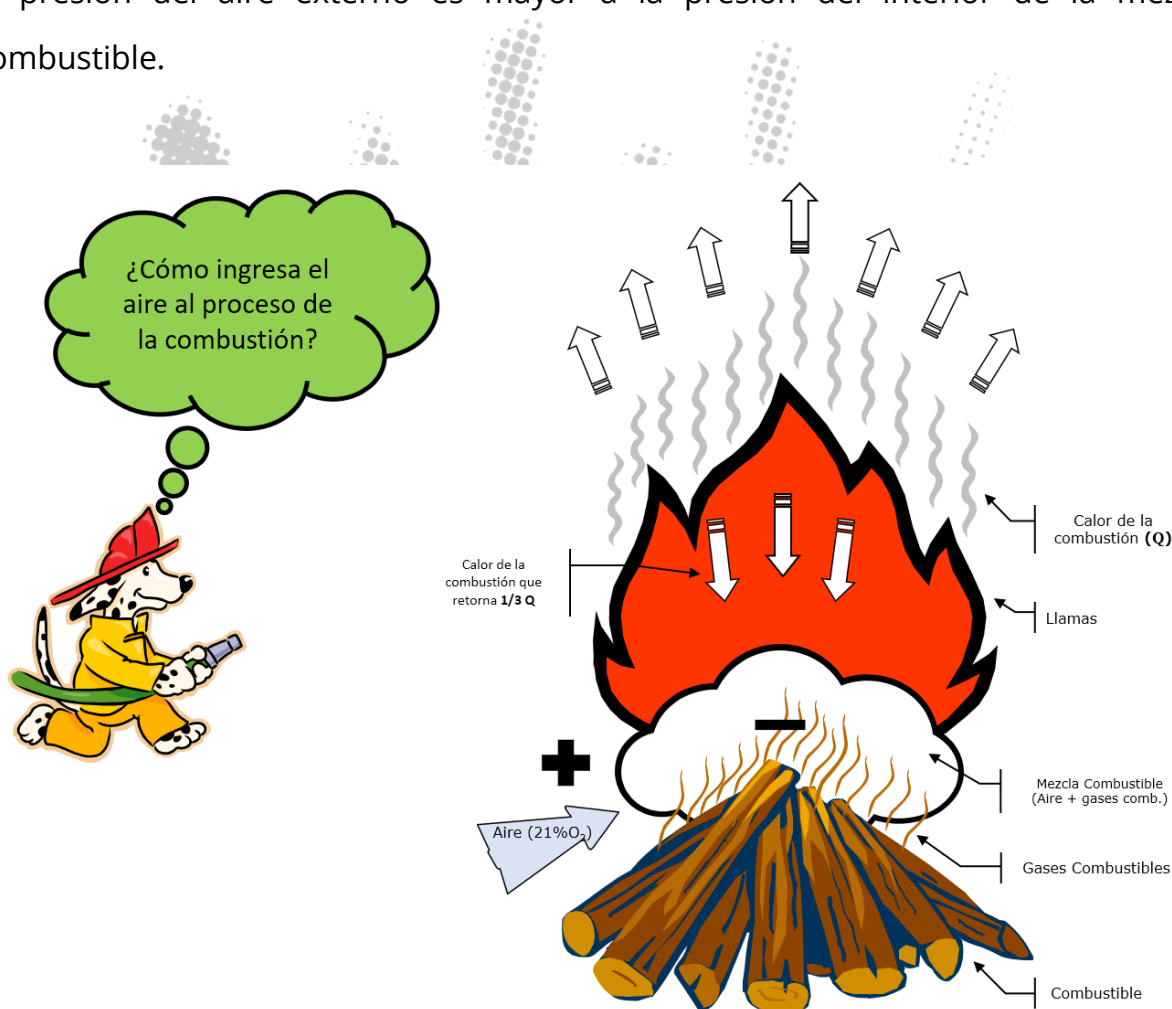
Cuando se arroja agua a un incendio absorbe calor y pasa de 20 °C a 100 °C absorbiendo 80 kcal/kg, después a los 100 °C cambia de estado y absorbe 540 kcal/kg, hasta que se evapora completamente.



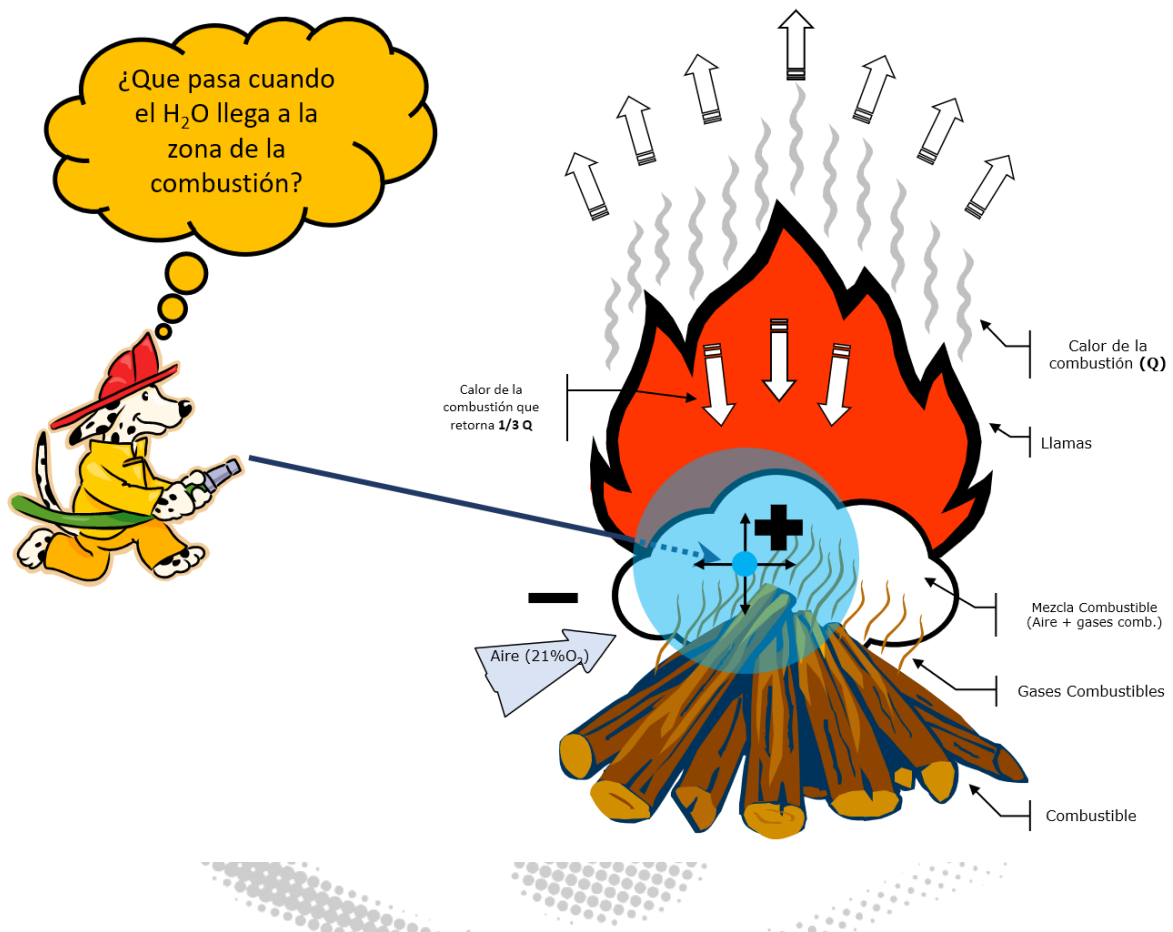
Cuando el agua se evapora expande su volumen aumentando aproximadamente unas 1.700 veces, es decir 1 litro de agua genera un volumen de 1.700 litros de vapor de agua.

¿Qué hace este vapor de agua en la zona de la mezcla combustible?

Para entender este proceso es necesario repasar cómo ingresa el aire al proceso de la combustión. La mezcla combustible está caliente, al menos por encima de los 350 °C, en estas condiciones la densidad de la mezcla combustible se reduce y con ello también se reduce la presión interna. El aire del medio ambiente que rodea al proceso de la combustión, no sólo está más frío, sino que a una leve mayor presión, y como los fluidos se mueven de ambientes de mayor presión a ambientes de menor presión, el aire ingresa sólo, por el llamado proceso de difusión, es decir, la presión del aire externo es mayor a la presión del interior de la mezcla combustible.



Cuando el agua ingresa, supóngase en estado líquido, al interior de la mezcla combustible, absorbe calor, se calienta y se evapora, y en este proceso absorbe 620 kcal/kg; en este cambio de estado aumenta su volumen 1.700 veces.



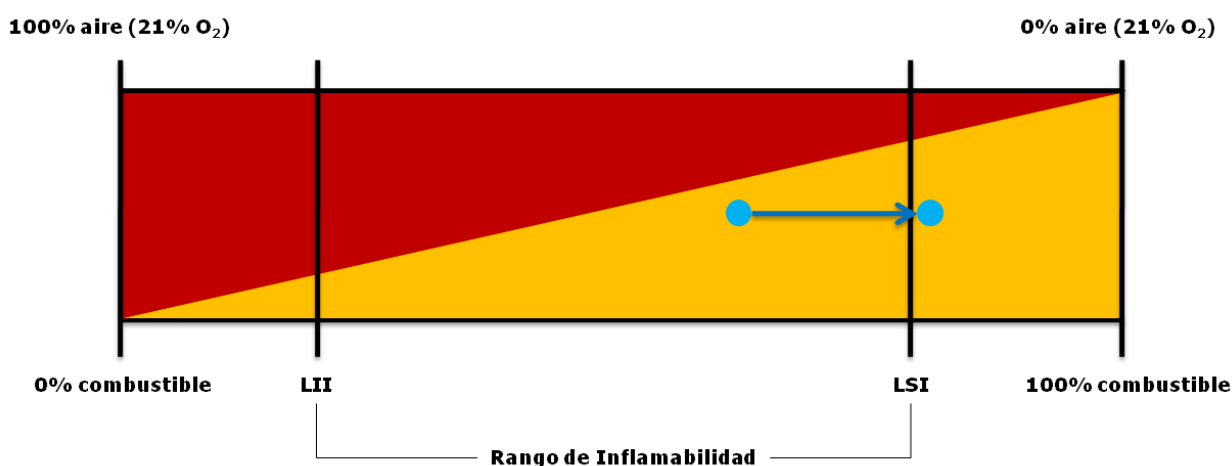
Ahora bien, para que el vapor de agua se pueda expandir dentro de la mezcla combustible, la presión del vapor de agua debe ser mayor que la presión en la zona externa a la mezcla combustible, por consiguiente este proceso de expansión del vapor de agua dentro de la mezcla combustible cambia el gradiente de presión, ahora el aire no puede ingresar porque la presión interna de la mezcla es mayor. También se puede decir, en términos más simples, que el agua cuando se convierte en vapor hace que el aire se vea desplazado de la mezcla combustible por un gas inerte como lo es el vapor de agua.

“El desplazamiento del aire fuera de la zona de mezcla combustible se produce como consecuencia del incremento de la presión interna en la zona de la mezcla combustible producto de la expansión del vapor de agua.”

Si el calor del fuego genera suficiente vapor de agua, el aire queda desplazado o excluido y el fuego se extingue por acción sofocadora.

El mecanismo de sofocación implica reemplazar el aire ambiente por, en este caso, un gas inerte para la reacción química de la combustión, como lo es el vapor de agua.

Al reemplazar en forma progresiva el aire que necesita la combustión por vapor de agua, no se hace otra cosa que moverse el eje del rango de inflamabilidad hacia el LSI, superado este límite la combustión cesa por falta de uno de sus elementos en cantidad suficiente como lo es el oxígeno del aire.



La cantidad de vapor de agua generado depende de la magnitud del fuego y el grado de efecto sofocador determinado por este factor. En aquellos casos en que el oxígeno sea liberado del mismo material que se calienta (por ejemplo en un fuego de piroxilina), la acción sofocadora del oxígeno no colabora en la extinción.

Este simple y sencillo mecanismo de sofocación tiene implícito otro efecto que se podría llamar como “enfriamiento indirecto” o “enfriamiento químico”.

A medida que el gas inerte (vapor de agua para este caso) va desplazando al oxígeno de la zona de la mezcla inflamable y del medio que la rodea, no solo mueve a ésta fuera del rango de inflamabilidad, en este caso por encima del LSI, sino que como resultado de este camino recorrido, produce progresivamente una reacción química cuya velocidad de oxidación se vuelve más lenta por ausencia progresiva de unos de sus reactivos, en este caso el oxígeno. Una de las consecuencias de una reacción química que se hace más lenta, es que la cantidad de calor generado va disminuyendo en forma progresiva, no hay que olvidar que el calor generado es un producto de ésta reacción química.

En el caso especial del vapor de agua generado en el seno de la combustión, aunque no llegue a ser suficiente para superar el LSI, cualquier cantidad de vapor ayudará a ralentizar la combustión y por ende extinguirla por enfriamiento.

A medida que el vapor de agua mueve la mezcla combustible hacia el LSI y hace más lenta la combustión y por ende empieza a producir menos calor, se va a ir necesitando progresivamente menor cantidad de agua para apagar y controlar la combustión, hasta un punto tal, que apagada la llama, por efecto combinado de enfriamiento y sofocación, queda sólo usar la cantidad de agua necesaria (mucho menor que con el combustible encendido) para enfriar todo a un punto tal que la combustión no se reinicie de nuevo.

La combustión se apaga por una combinación de dos mecanismos, por un lado un enfriamiento por absorción de calor por parte del agua, y por otro lado por un efecto de sofocación por el vapor de agua, y que, dependiendo de la situación, participan ambos en diferentes proporciones, pero siempre están ambos efectos presentes.

8.3) Líquidos Miscibles y No Miscibles en Agua

Miscibilidad es un término usado en química que se refiere a la propiedad de algunos líquidos para mezclarse en cualquier proporción, formando una solución homogénea⁶. En principio, el término es también aplicado a otras fases (sólidos, gases), pero se emplea más a menudo para referirse a la solubilidad de un líquido en otro. El agua y el alcohol, por ejemplo, son miscibles en cualquier proporción.

Por el contrario, se dice que las sustancias son inmiscibles o no miscibles si en ninguna proporción son capaces de formar una fase homogénea.

En materia de líquidos combustibles o inflamables podemos encontrarnos con aquellos que son miscibles en agua como el alcohol etílico, y con aquellos que no son miscibles en agua como la nafta o el gasoil.

La mayoría de los alcoholes, la acetona, y otros, pertenecen al primer grupo. Los hidrocarburos, en cambio, suelen ser no solubles en el agua, siéndolo en disolventes orgánicos.

Considerando este aspecto puede preverse el comportamiento que va a tener un determinado producto cuando se ponga en contacto con agua.

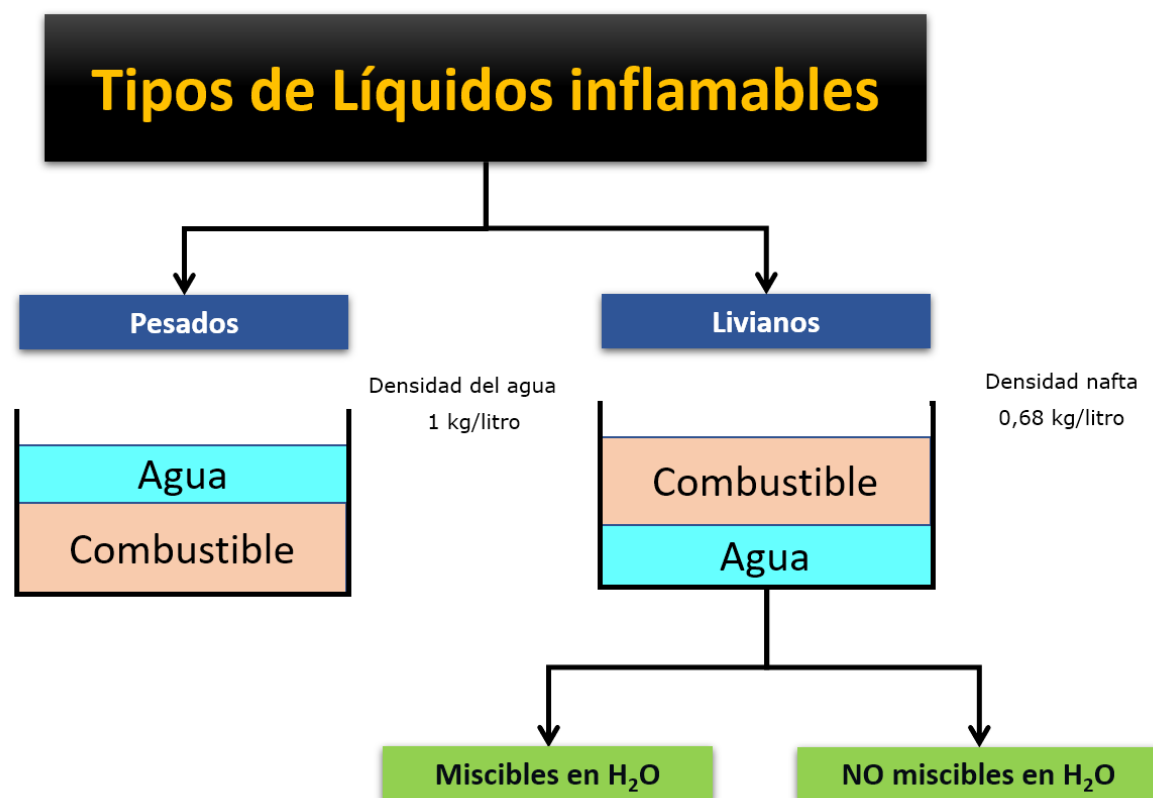
8.4) Densidad del Líquido

Puesto que la densidad del agua es igual a la unidad, un líquido con una densidad menor que uno flotará en el agua (a menos que sea soluble).

Una densidad superior a uno significa que el agua flotará sobre el líquido. Este factor es de relevante importancia en la lucha contra incendios de líquidos inflamables y combustibles.

⁶ En química, una mezcla homogénea es aquella en la que no se reconocen fases o las partes de las sustancias que la componen. Ejemplo: una mezcla de agua y sal.

La inmensa mayoría de los líquidos inflamables y combustibles tienen menor densidad que el agua, de forma que, en cualquier situación, que entren en contacto con la misma tenderán a situarse en la superficie.



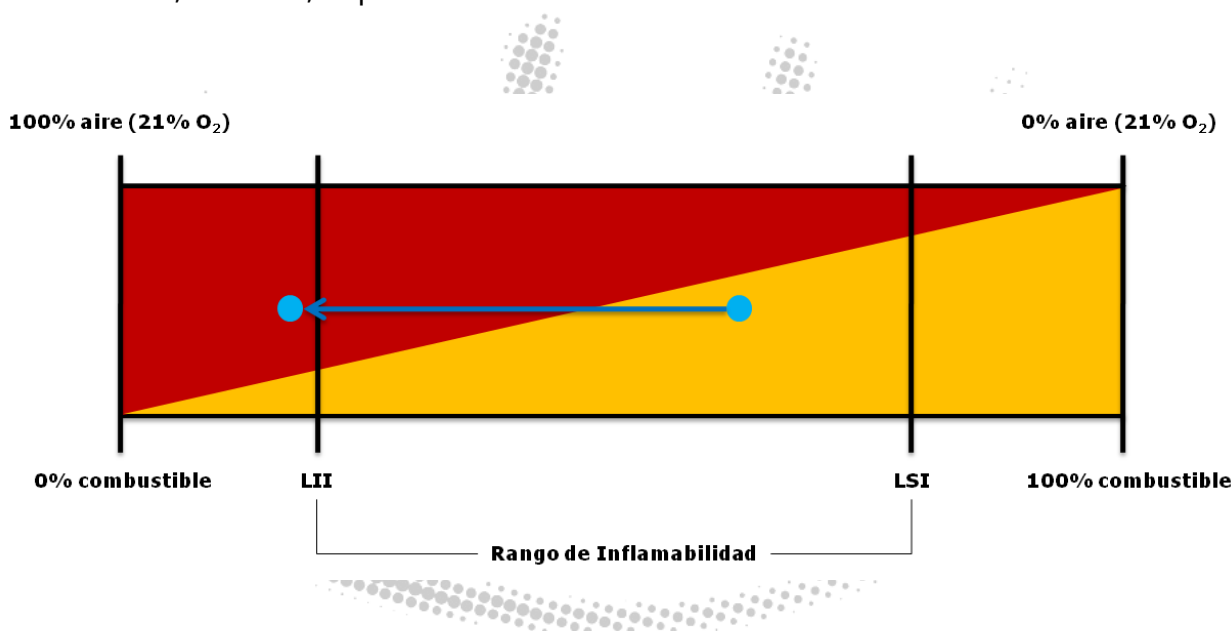
Líquido combustible	Densidad aproximada g/cm ³ a 20 °C
Nitrobenceno	1,20
Disulfuro de carbono (CS ₂)	1,26
Tetralina (Tetrahidronaftaleno)	0,97
Aceites de alquitrán de hulla (creosota pesada)	1,03 - 1,10
Gasolina	0,71 - 0,77
Kerosen	0,78 - 0,82
Gasóleo (diésel)	0,82 - 0,86
Fuel-oil (pueden superar ligeramente 1,0 g/cm ³)	0,90 - 0,99

8.5) Extinción por Dilución

Con los materiales combustibles líquidos que son miscibles en el agua aparece un mecanismo de extinción adicional como es el de dilución.

Como resultado de la dilución se obtiene un producto inflamable o combustible que tiene cada vez menos combustible en su composición y por ende menos capacidad de producir gases combustibles.

Si se considera, al menos en forma teórica, que sólo actúa en el proceso de extinción el mecanismo de dilución, esto implica la eliminación progresiva del combustible, es decir, el punto de combustión se mueve hacia el LII.



Como consecuencia de la extinción usando la técnica de dilución se puede producir el rebalse del tanque donde está almacenado el líquido inflamable, con el consiguiente peligro que implica el derrame de productos líquidos incendiados.

Otra consecuencia, aunque sea solamente un análisis teórico, es la cantidad de agua que se necesita para producir la dilución adecuada, y esto explica, además, el problema del rebalse de los recipientes.

Alcohol Etílico



Para apagar solamente por dilución deberíamos agregar una cantidad de agua por encima de su LII, es decir, un 96,7%.

El efecto del agua cuando se extingue un fuego de un líquido inflamable no miscible en agua son los siguientes:

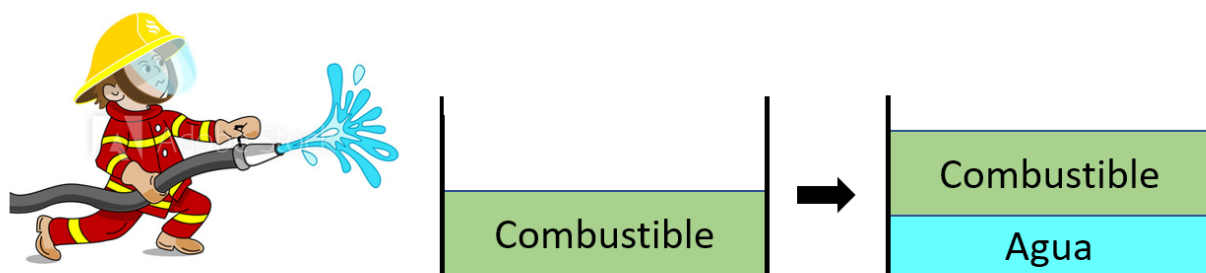
- El agua al entrar en contacto con el líquido inflamable absorbe calor, esta absorción de calor produce una menor evaporación de gases combustibles, además, el agua se evapora.
- El vapor de agua produce un efecto de sofocación en la superficie del combustible.
- Al mezclarse el agua con el líquido inflamable se diluye y produce menor cantidad de gases.

La técnica de extinción usando la dilución, por lo ya explicitado, no es efectiva y no sirve para la extinción de líquidos inflamables o combustibles miscibles en agua.

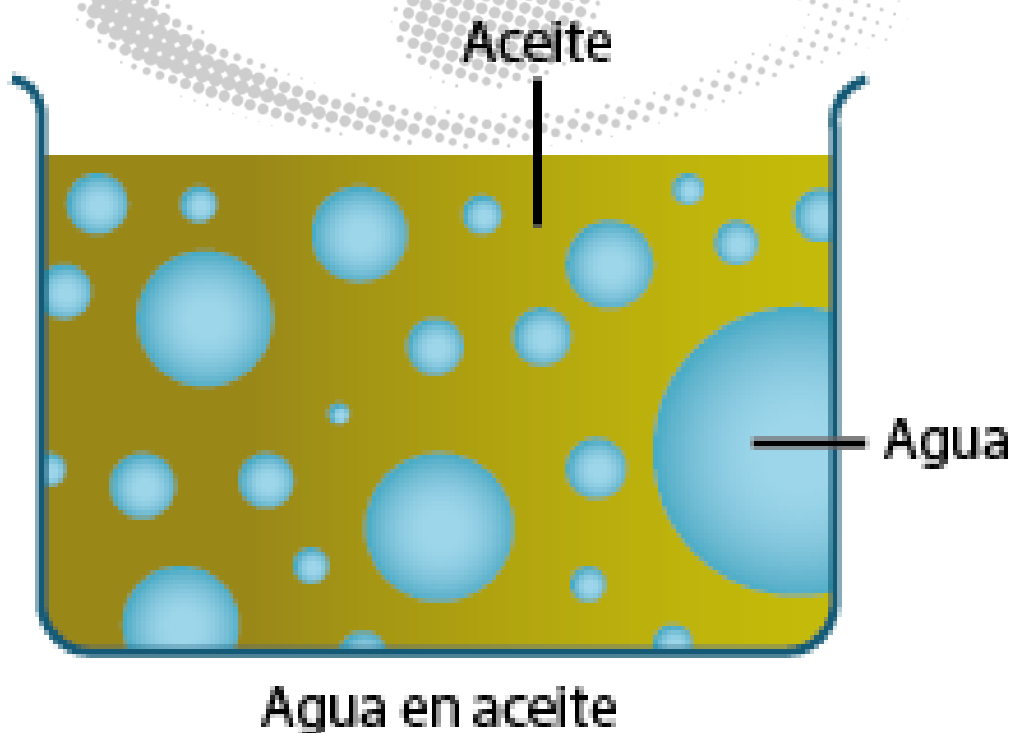
Se puede usar, con sumo cuidado, con el objetivo de enfriar al líquido inflamable liviano y ayudar a que éste genere menos gases combustibles, teniendo en cuenta no rebalsar el contenedor.

8.6) Extinción por Emulsificación

Cuando se arroja agua a un líquido inflamable o combustible no miscible en agua y liviano, se produce la siguiente situación:

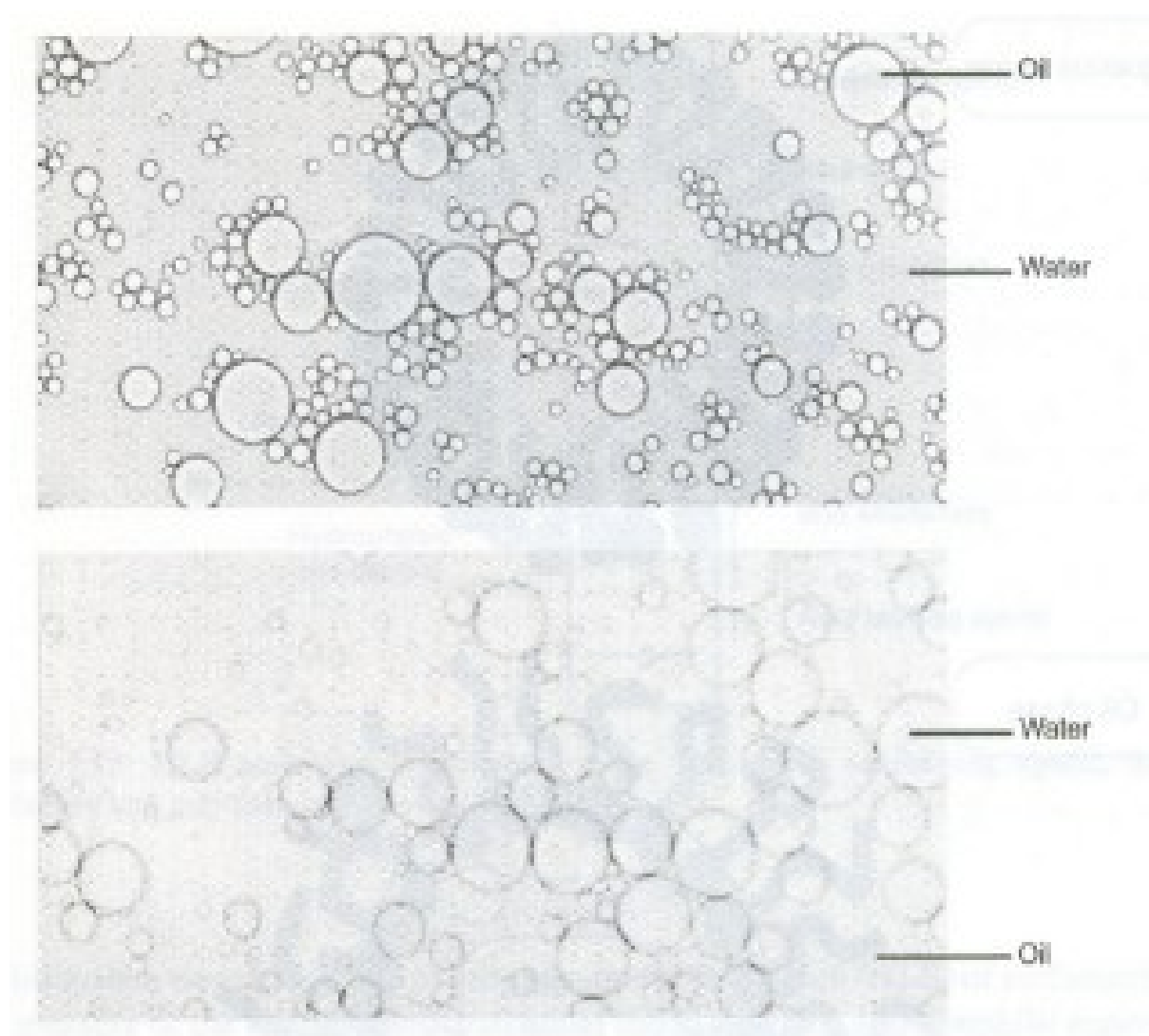


Emulsionar es el proceso de mezclar dos líquidos que son difíciles de mezclar. En este caso el agua y el combustible no miscible en agua como un aceite. El enfoque principal de emulsionar es la dispersión de la fase discontinua en gotitas preferentemente finas.



Cuando dos líquidos no miscibles, como por ejemplo agua y un aceite combustible, se agitan y se mezclan, un líquido puede dispersarse en el otro en forma de pequeñas gotas, formando una emulsión. Esto ocurre muchas veces cuando el agua (preferentemente en forma de "spray") choca contra la superficie de ciertos líquidos combustibles con los cuales el agua no se mezcla.

Si se observara la superficie de un emulsión de agua y aceite se vería de la siguiente manera:



Al producir una emulsificación lo que en realidad pasa en la superficie es que ahora queda formada por pequeñas áreas de agua flotando sobre el combustible, de esta

manera la superficie libre que tiene el combustible para generar gases combustibles disminuye.

Estas emulsiones, en general, no son combustibles. El efecto es producir una condición de incombustibilidad temporaria en la superficie del material.

Se considera que en ciertos líquidos muy livianos la emulsificación es extremadamente breve, y que se cumple únicamente mientras dura la aplicación del agua (preferentemente en forma de "spray"). Con líquidos de cierta viscosidad, el efecto emulsificante puede persistir durante un cierto tiempo y puede llegarse a impedir la reignición cuando ha cesado la aplicación del agua.

Este es un **método teórico** por las siguientes razones:

- En la práctica resulta casi imposible de aplicar, por la enorme dificultad de formar la emulsión en los depósitos donde se encuentran los combustibles.
- El problema de las emulsiones es su estabilidad. Las gotas de la fase discontinua tienden a romper la emulsión formándose nuevamente dos fases continuas.
- Si se quisiera hacer la emulsión con la presión del agua, se produciría proyecciones de líquido inflamable encendido.
- También podrían producirse explosiones con proyecciones de líquido inflamable encendido, por el cambio de fase de líquido a vapor (1.700 veces) en el seno del líquido inflamable. Esto se da principalmente en el caso de combustibles líquidos de cierta viscosidad como los aceites.
- Probabilidad de producir un BOILOVER en tanques con mezcla de hidrocarburos de distintos cortes.

8.7) Apantallamiento de la Radiación

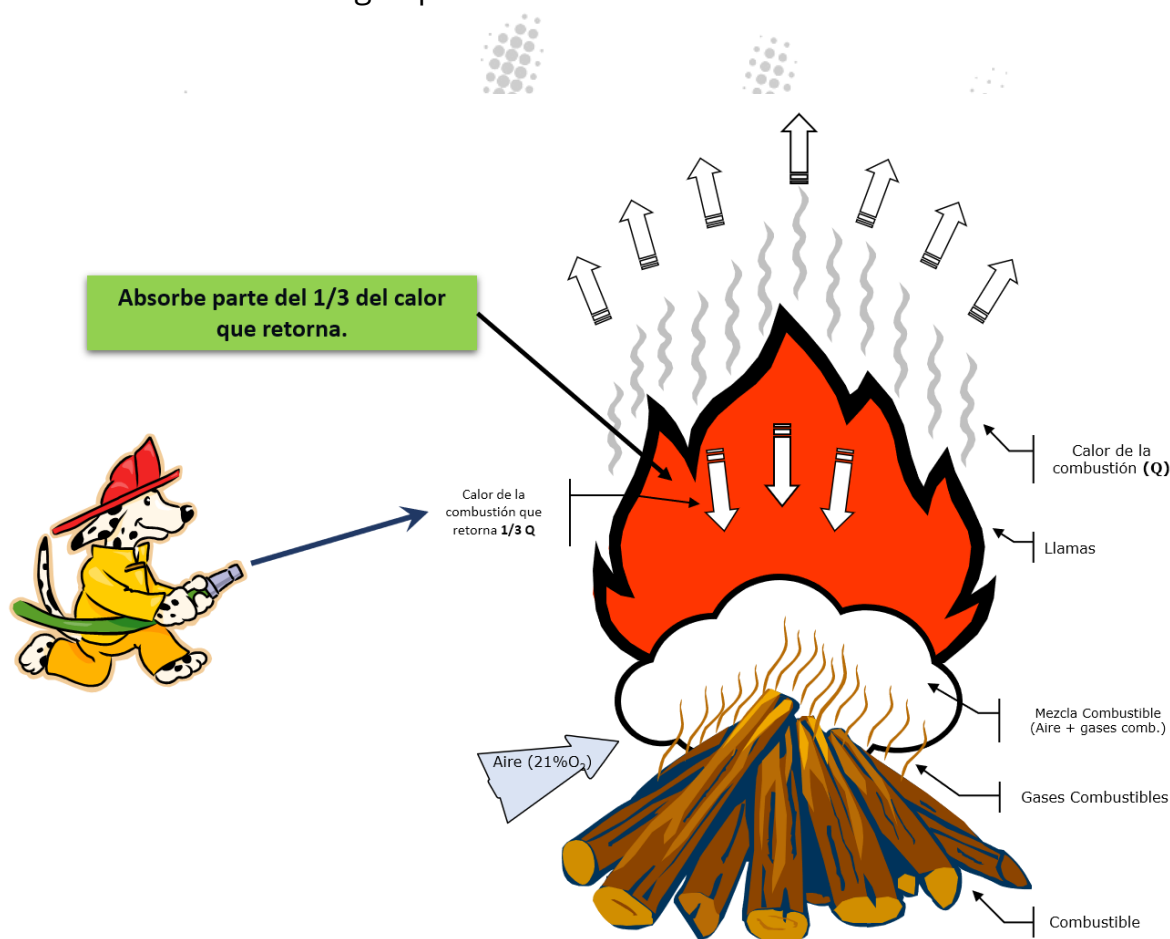
El combustible se necesita alimentar de calor para poder seguir produciendo gases combustibles. Este calor se mueve del proceso de la combustión hacia el combustible usando el fenómeno de transmisión del calor por radiación.

El agua es transparente a la radiación visible y permiten su paso; sin embargo, el agua líquida es opaca para la mayor parte de las longitudes de onda infrarrojas.

El vapor de agua, como así también el dióxido de carbono presentes en la atmósfera, puede absorber importantes cantidades de calor de radiación a gran distancia de grandes fuegos.

Las gotitas de agua absorben casi todas las radiaciones infrarrojas incidentes, las nieblas o pulverizaciones de agua son atenuadoras eficaces de las radiaciones.

El agua no sólo absorbe el calor de radiación que emite la llama de la combustión, sino que es una muy buena barrera de protección para los bomberos cuando la aplican como cortina de agua pulverizada.



8.8) El Efecto del Agua Pulverizada

Para apagar una combustión, no es importante la cantidad de calor que hay que absorber, sino la cantidad de calor por unidad de tiempo, dado que la combustión es un proceso dinámico.

Lo más efectivo es descargar agua de manera que se absorba el máximo de calor en el menor tiempo posible. El agua absorbe el máximo de calor no sólo cuando se transforma en vapor, sino también cuando se aplica pulverizada en vez de hacerlo como un chorro compacto.

Para entender el tema hay ciertos conceptos que es conveniente repasar:

Primer Concepto

La cantidad de calor que absorbe un cuerpo está dado por su masa:

$$Q = f_{(m)}.$$

$$Q = c.m.\Delta T \text{ y } Q = c_v.m$$

Un kilogramo de agua absorbe 80 kcal para llevarla de 20 °C a 100 °C y 540 kcal para evaporarla en forma completa, indistintamente del estado de agregación en que se encuentre.

Segundo Concepto

El calor ingresa y sale de un cuerpo por la superficie del mismo. A mayor superficie expuesta mayor es la velocidad con que un cuerpo transfiere calor.

Tercer Concepto

Para un volumen dado de agua la superficie aumenta drásticamente si ésta se convierte en gotas.

Demostración

Gota A: gota de 1 kg de agua, en forma plana de 1 mm de espesor y de forma cuadra de 5 mm de lado (imagen A).

Gota B: la misma gota de 1 kg de agua dividida en 25 gotas más pequeñas de 1 mm de lado cada una (imagen B).

¿Qué sucede cuando estas gotas se exponen a un proceso de transferencia de calor, que para nuestro caso tan especial, se transfiere por la superficie perimetral de las mimas?

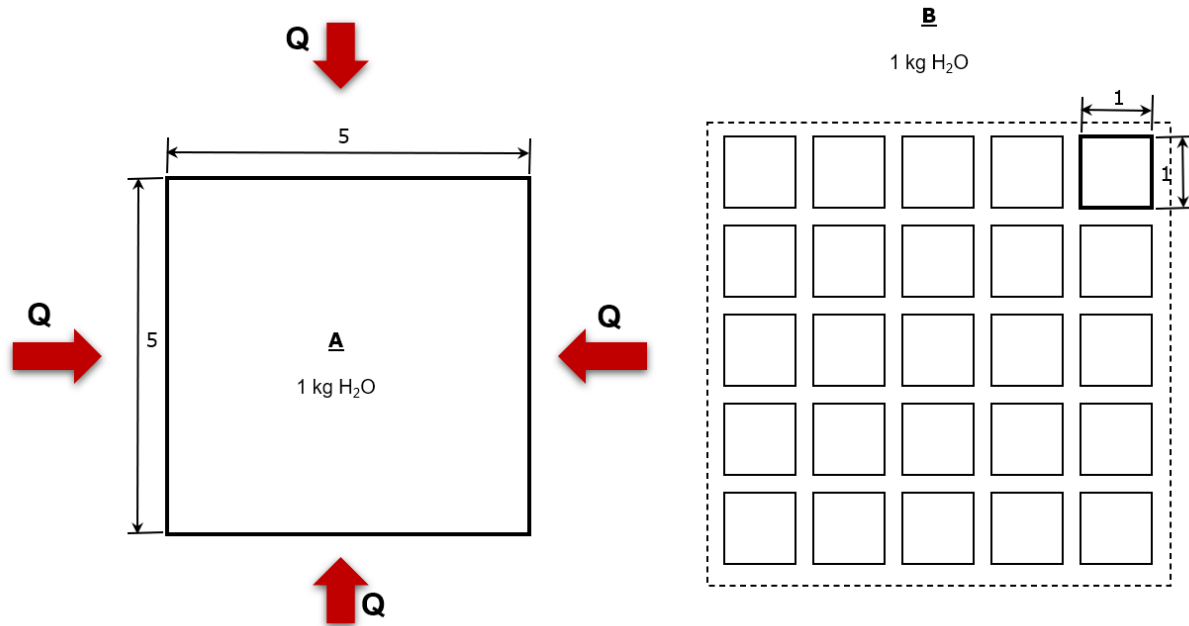
Superficie de Transferencia de Calor A = $(5 + 5 + 5 + 5) \text{ mm} \bullet 1 \text{ mm}$

Superficie de Transferencia de Calor A = **20 mm²**

Superficie de Transferencia de Calor B = $(1 + 1 + 1 + 1) \text{ mm} \bullet 1 \text{ mm} \bullet 25$

Superficie de Transferencia de Calor B = **100 mm²**

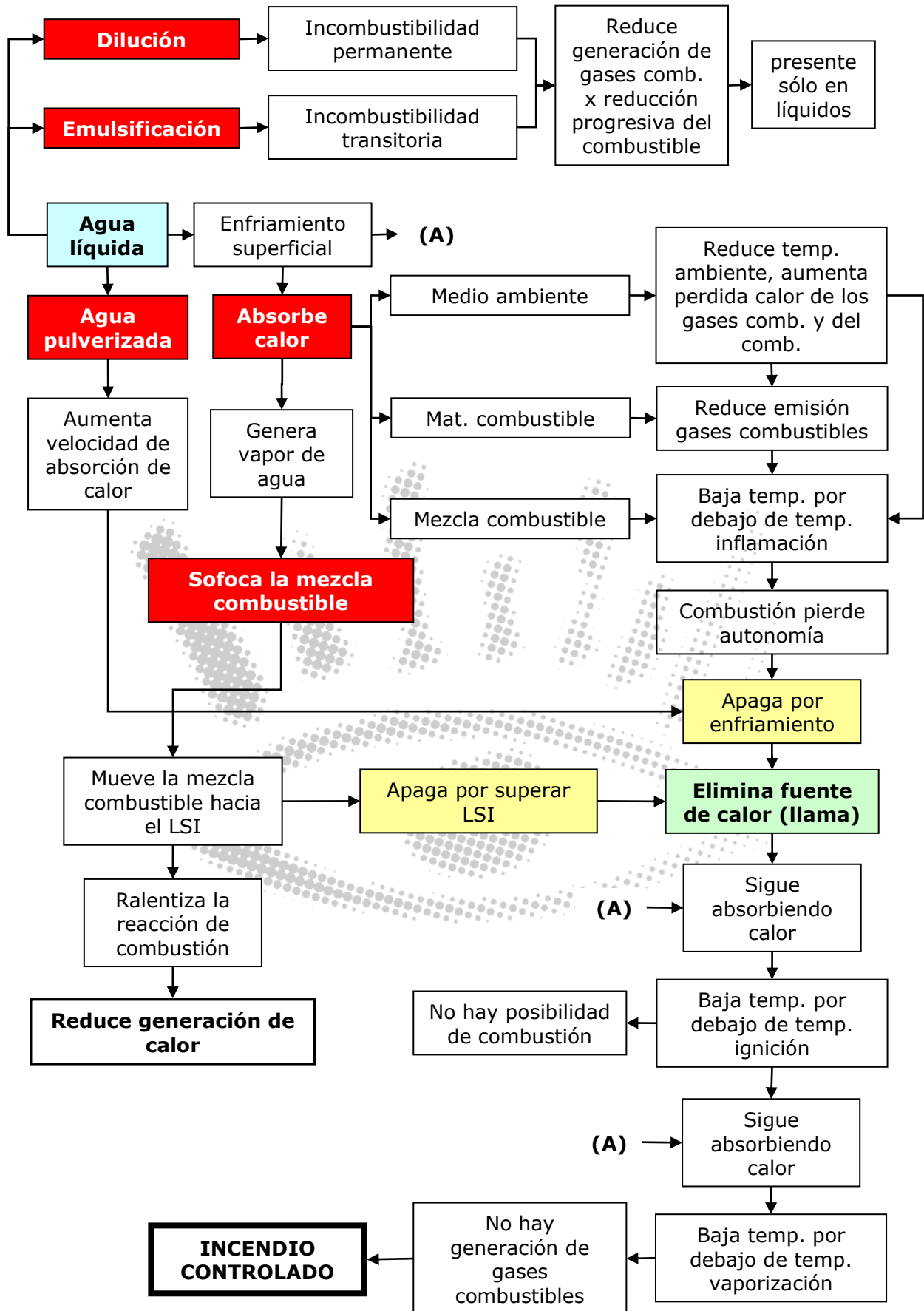
Es decir, que las gotas pulverizadas presentan mayor superficie expuesta a la transferencia del calor.



La aplicación de agua pulverizada se basa en el principio de que la velocidad de transmisión de calor es proporcional a la superficie expuesta de un líquido.

Con este método, no se observe más calor, sino, que se produce una absorción mucho más rápida, es decir, la masa de agua puesta en juego para apagar una combustión absorbe la misma cantidad de calor, se la tire en forma de chorro pleno o pulverizada, pero en este último caso el calor se absorberá a mayor velocidad.

El agua pulverizada ayuda a acelerar el ritmo con que el agua absorbe el calor, además, de tener otras ventajas como no producir daño, cosa que suele hacer un chorro de agua compacto a alta presión, no salpica los combustibles líquidos, generar una barrera que disminuye el paso del calor por radiación y disminuye el paso de humo, entre otros usos.



9) LIMITACIONES DEL AGUA COMO AGENTE EXTINTOR

El agua presenta limitaciones en su uso como agente extintor que hay que considerar en cada situación particular. Las mismas son:

- El Agua Contra los Combustibles Líquidos Livianos No Miscibles en Agua.
- Derrame por Ebullición (Boilover).
- Derrame Superficial (Slopoover).
- Derrame por Espumación (Frothover).
- Conductividad eléctrica.
- Relacionadas a la Tensión superficial.
- Reactividad con ciertos materiales.
- Problemas con el congelamiento.

9.1) El Agua Contra Combustibles Líquidos Livianos No Miscibles en Agua

Considérense ahora un combustible líquido liviano no miscible en agua con punto de ignición ambiental o sub ambiental, o sea, un líquido que a temperatura ambiente es capaz de suministrar vapores de combustible en cantidad suficiente como para mantener la combustión.

El siguiente análisis es totalmente teórico. Considérense un tanque con un piso totalmente plano y en donde se desarrolla un fuego típico alimentado por una pérdida de un caño de un combustible liviano como la nafta. Admítase que la cañería pierde nafta a razón de Q_p (litros/min) y que el producto se inflama en el piso que es absolutamente plano.

Eso es lo que se suele llamar en la literatura inglesa un "spill fire" (fuego de derrame). El área de la combustión A_c (m^2) será al principio pequeña, pero muy pronto se extenderá hasta tener una magnitud suficiente como para permitir que la nafta se consuma al ritmo a que se está derramando, es decir, cuando el caudal

de nafta que consume el fuego, Q_f (litros/min), sea igual al caudal de nafta que se vierte por la cañería, el tamaño del charco se estabiliza.

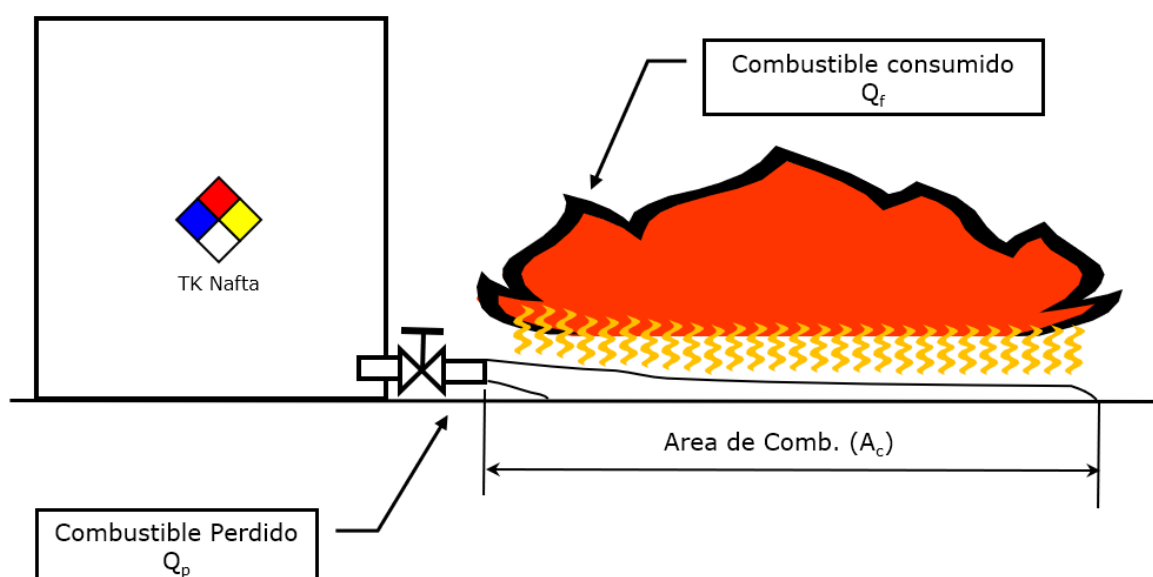
Mientras prosiga el suministro de combustible al mismo ritmo, el área se mantendrá sin expandirse. No se extenderá debido a que el combustible se quema a medida que se derrama.

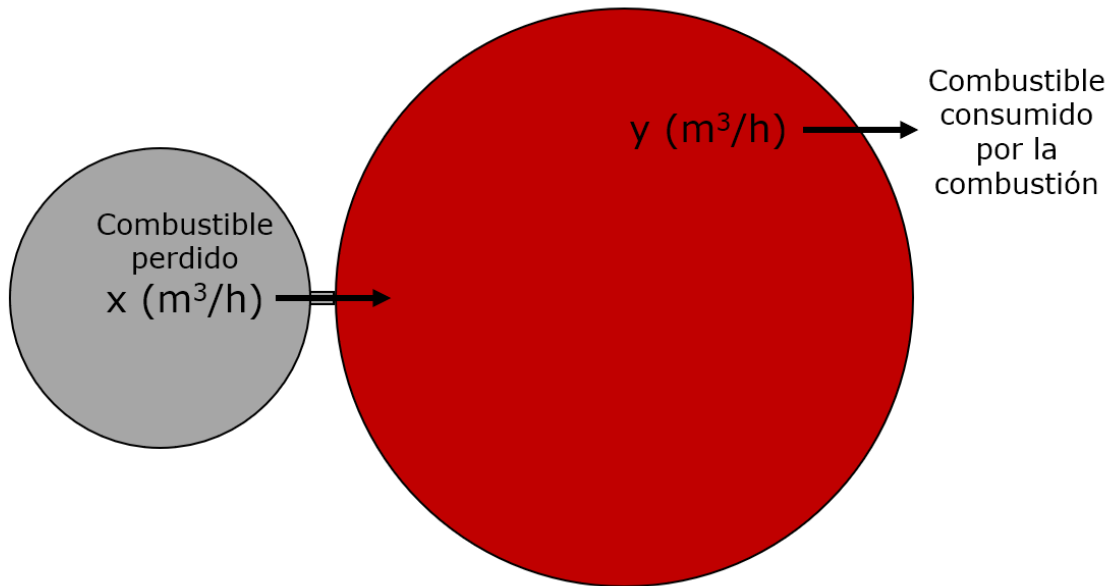
¿Qué pasa ahora si se aplica agua?

Cuando se explicó el mecanismo de emulsificación se analizaron ciertos problemas del agua con los combustibles no miscibles en agua; pero ahora se suman otros.

Si se aplica agua, en estas condiciones, a ese fuego de nafta, ocurrirá lo siguiente:

- Algo de agua se vaporizará en la zona de la llama y absorberá calor, y como consecuencia de este parcial enfriamiento de la llama, disminuirá algo la transferencia de calor hacia la superficie del combustible derramado.
- El agua que llegue hasta la superficie del combustible puede enfriarlo en cierta medida disminuyendo paralelamente la velocidad de suministro de vapores, aunque sin llegar a suprimir el suministro de éstos.





Cuando $x = y$

El charco se estabiliza en tamaño

Vista en planta

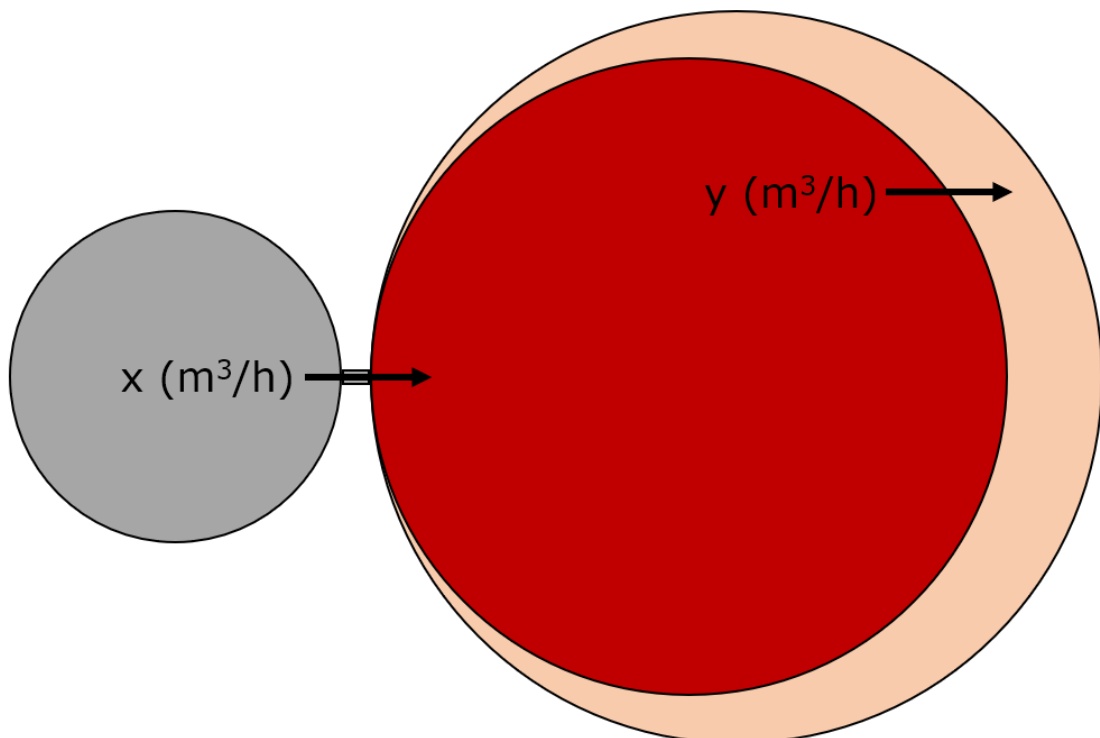
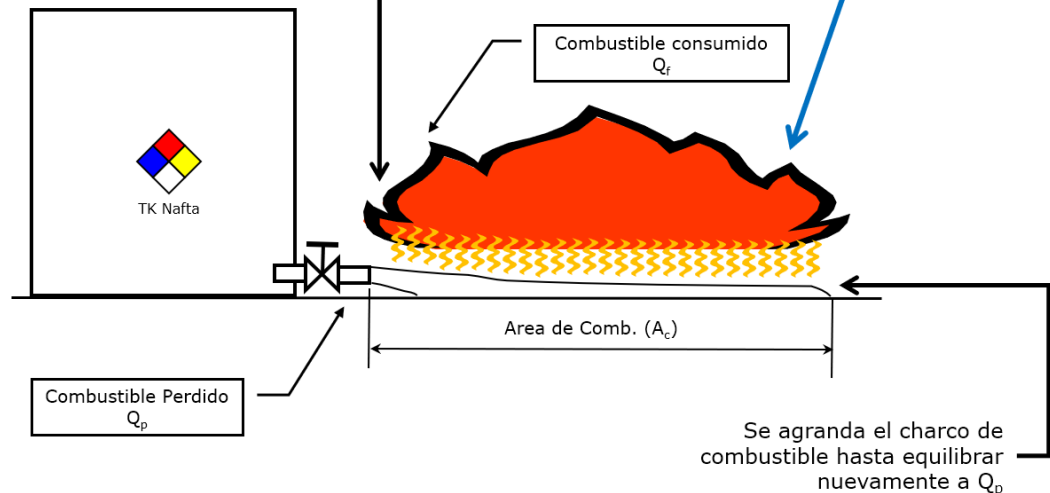
El estudio de las consecuencias de arrojar agua a este tipo de incendios son los siguientes:

Primer Consecuencia

Ambos efectos combinados harán que disminuya la velocidad a que el fuego consume el combustible, y como el caño sigue perdiendo nafta al mismo régimen, el área del fuego se extenderá, si el terreno lo permite, y la ampliación del área estará acorde con la disminución de la velocidad de combustión.

1ro.
**Qué pasa cuando
arrojamos H_2O ?**

La combustión consume menos gases combustibles, por consiguiente ahora se consume menos líquido combustibles.



Si ahora $x > y$

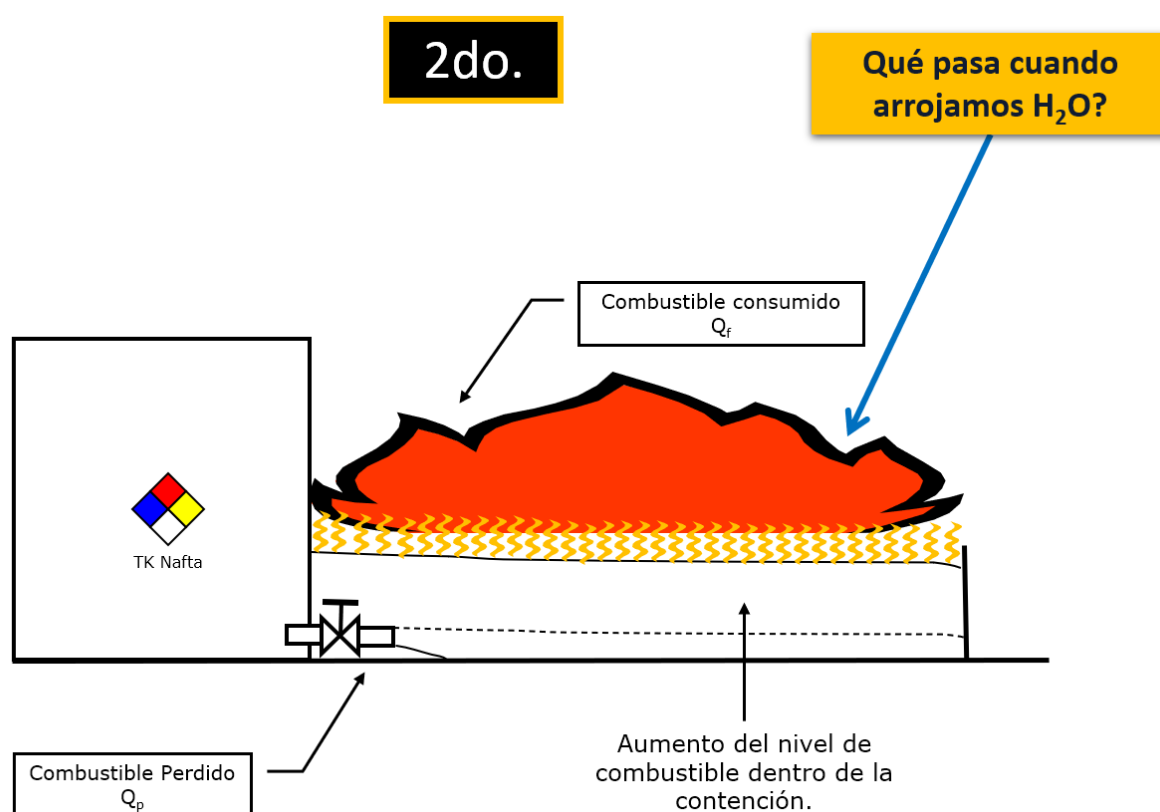
El charco se agranda hasta que $x = y$

Segunda Consecuencia

Si la topografía del terreno es tal que no pueda extenderse, o el tanque se encuentra dentro de una contención o endicamiento, el resultado será un aumento del nivel del líquido combustible dentro del ámbito que lo contiene, hasta que las paredes sean incapaces de contenerlo y el líquido desborde el recinto.

Se suma a esto que, el agua que se arroja y no se evapora va a parar al fondo aumentando la velocidad con que el nivel del endicamiento crece.

En un fuego de combustibles livianos semejante al descripto, el efecto de la descarga de agua será extender el fuego derramado o desbordar la contención del tanque con líquido combustible.



Tercera Consecuencia

El agua que llega hasta la superficie del líquido podrá enfriarlo, en el mejor de los casos, hasta la temperatura que el agua tiene al entrar en contacto con él, es decir 20 °C.

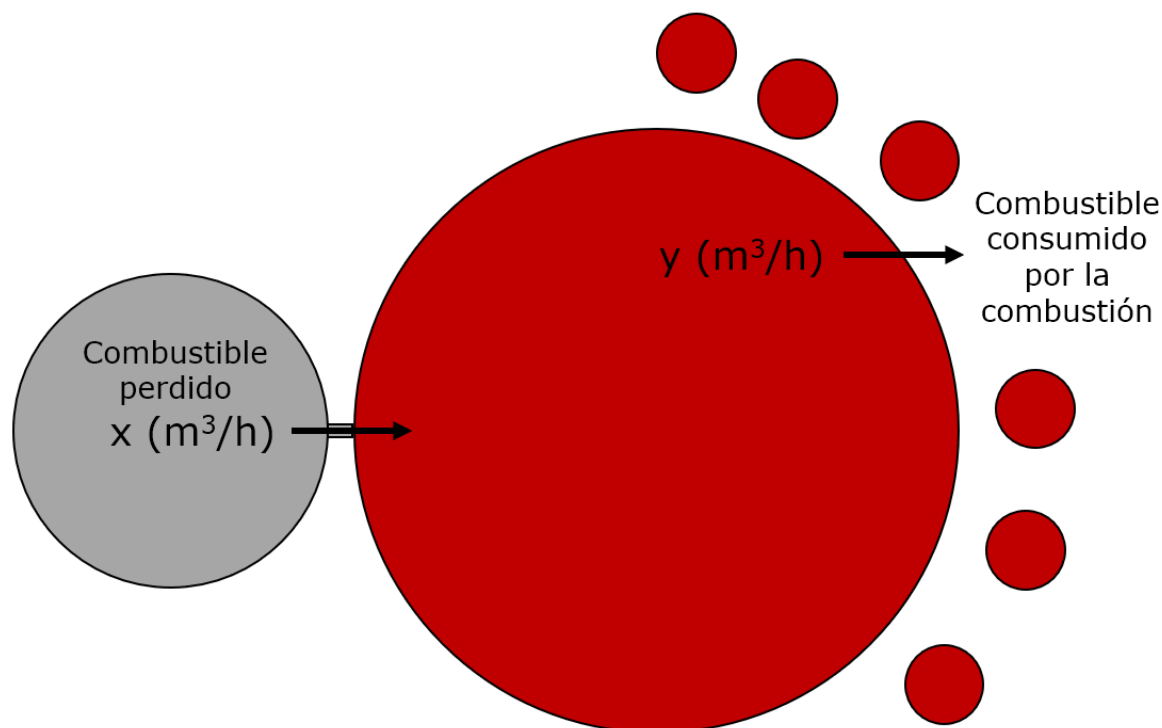
Pero como el líquido que está en consideración es un combustible liviano que sigue proveyendo gases combustibles a temperatura ambiente, la acción del agua será incapaz de impedir la vaporización del combustible.

En un caso semejante la acción del agua se cumple en la zona de la llama y, sin duda, el agua que se evapora cumple allí una acción refrigerante. Pero el exceso de agua que llega hasta la superficie del combustible líquido no ejerce acción extintora de importancia porque es incapaz de impedir la vaporización de un combustible líquido del tipo liviano.

En un caso tal como el que se está discutiendo, hay que admitir que las cantidades de agua requeridas para la extinción deben ser mayores y que el mecanismo de extinción sólo se logre por medio de la absorción total del calor, o sea, prácticamente, por la eliminación total de las fuentes de ignición y del calor del área de incendio, y especialmente de la superficie del combustible; pero hay también otras consideraciones a la hora de pretender extinguir un fuego de esta naturaleza solamente con agua.

Cuarta Consecuencia

Otra situación que se puede dar es la relacionada con que los combustibles líquidos livianos no miscible en agua flotan sobre esta, por consiguiente el agua puede vehiculizar el combustible, transportándolo más allá del área principal de combustión, generando islas encendidas, si es que la pendiente del suelo y la falta de confinamiento lo permiten, con el riesgo de que estas islas incendien otras áreas.



Conclusión

Salvo en circunstancias excepcionales y fuera de lo común, el agua no podrá extinguir un fuego de un combustible líquido inflamable no miscible en agua, tal como la nafta.

9.2) Derrame por Ebullición (Boilover)⁷

El boilover es uno de los fenómenos más peligrosos que pueden producirse durante un incendio de hidrocarburos líquidos. Su ocurrencia representa un riesgo extremo para bomberos, brigadas industriales y personal de plantas petroleras, ya que puede transformar un incendio relativamente estable en una catástrofe en cuestión de segundos.

⁷ Con la colaboración de ChatGPT.

¿Qué es un Boilover?

El boilover (literalmente "rebalse por ebullición") es la expulsión violenta de combustible ardiendo fuera de un tanque o recipiente, causada por la vaporización explosiva del agua acumulada debajo del hidrocarburo.

Cuando el agua pasa instantáneamente a vapor aumenta su volumen aproximadamente 1.700 veces, generando una enorme presión que impulsa el combustible en llamas hacia el exterior. Ese combustible puede proyectarse cientos de metros dependiendo del tamaño del tanque.

¿Dónde Ocurre?

Es un fenómeno que puede producirse espontáneamente durante el incendio de un depósito abierto que contenga ciertos tipos de materiales combustibles del tipo muticortes como por ejemplo aceites minerales crudos.

Puede ocurrir principalmente en:

- Tanques atmosféricos de petróleo crudo.
- Tanques de fuel oil.
- Tanques de gasoil pesado.
- Tanques de kerosene pesado.

Es extremadamente raro en combustibles livianos y puros como gasolina debido a que no desarrollan las condiciones térmicas necesarias.

¿Cómo Ocurre?

Supóngase un incendio de un tanque que contiene aceite mineral cuyos componentes tienen puntos de ebullición muy dispares, es decir productos llamados multicorte, de modo que cuando los más ligeros o livianos, que se combustionan primero, hayan desaparecido por el proceso de combustión en la superficie de este producto, el residuo superficial queda conformado por una mansa más densa.

Este residuo se hunde por debajo de la superficie y forma una capa, cuyo espesor aumenta gradualmente, que desciende a una velocidad bastante mayor que la velocidad de regresión de la superficie en combustión. Así se inicia la llamada “onda de calor” que desciende hasta que alcanza el fondo del tanque.

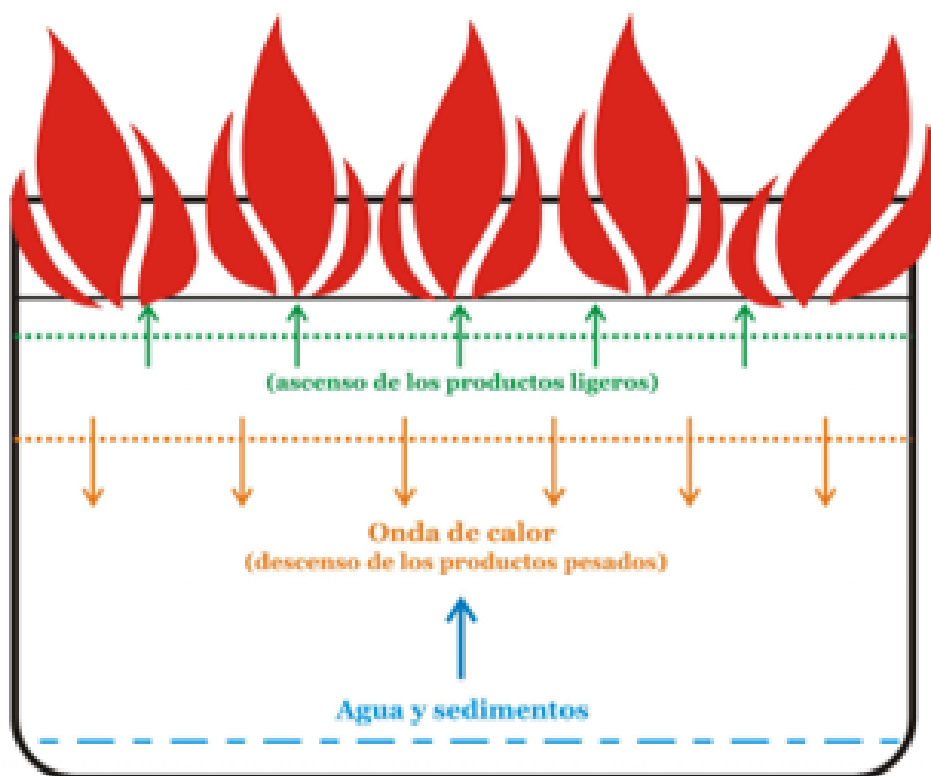
Si en estas condiciones se le arroja agua al incendio es altamente probable que parte del agua en estado líquido llegue al fondo del tanque. También se puede dar que el tanque en el fondo ya tenga agua libre o emulsionada con el aceite mineral, esta circunstancia es normal en los depósitos de aceite crudo.

Después de un período de combustión y cuando la “onda de calor” llega al fondo del tanque se produce un súbito rebosamiento o eyección de una parte o de la totalidad del combustible que contiene el depósito, cuya causa es la ebullición violenta del agua que se encuentra en el fondo y cuyo vapor se expande rápidamente. Es decir, el agua que se encuentra en el fondo evapora inmediatamente producto de la “onda de calor”, se expande más de 1.700 veces y expulsa del tanque el combustible que tiene encima.

El proceso puede resumirse en seis etapas:

- Se inicia el incendio superficial.
- El calor penetra lentamente en el combustible.
- Se forma la capa caliente.
- La capa caliente desciende.

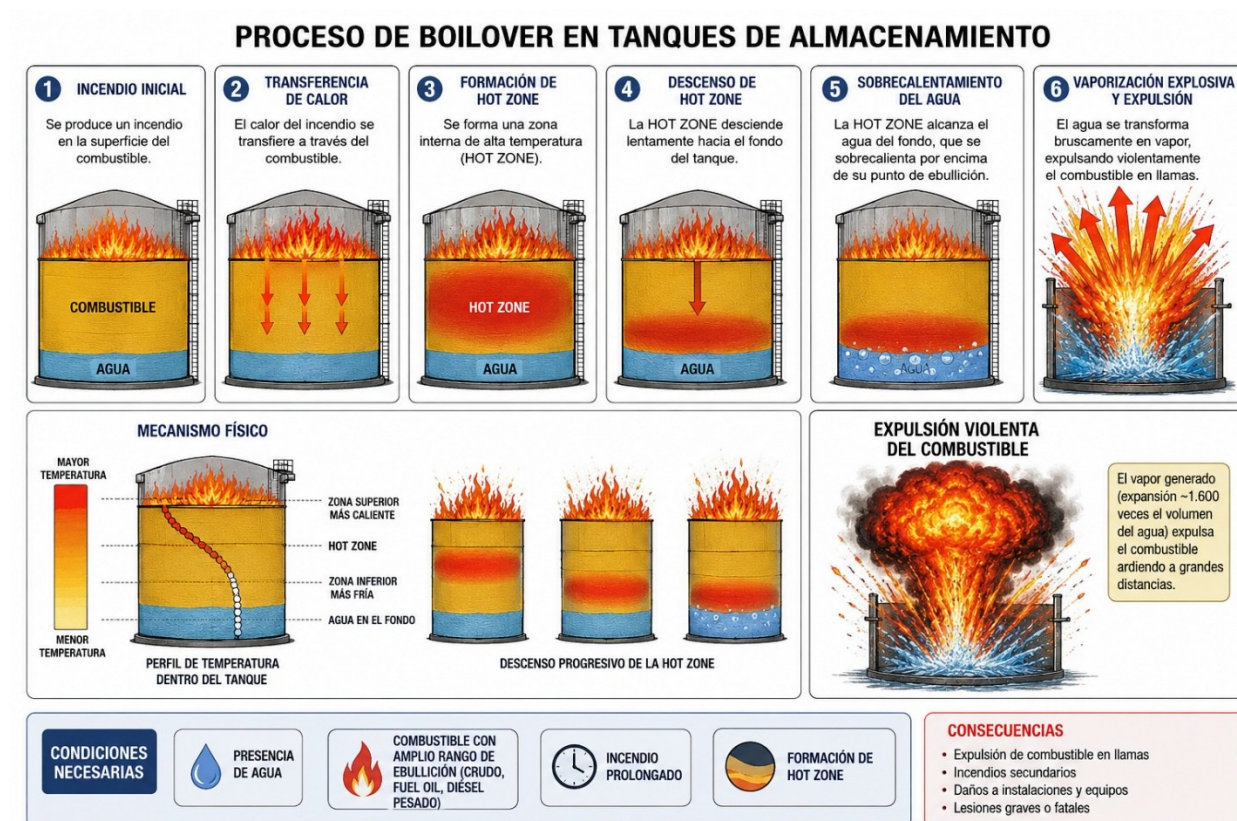
- El agua alcanza temperaturas superiores a su punto de ebullición bajo condiciones de sobrecalentamiento.
- El agua se transforma bruscamente en vapor, expulsando el combustible en llamas.



Juan Miguel Suay Belenguer

El incendio de un depósito con mayor número de víctimas mortales en toda la historia ocurrió el 19 de diciembre de 1982 en Tacoa (Venezuela). El tanque de almacenamiento, situado unas pocas millas al noroeste de Caracas en el pueblito costero de Tacoa, suministraba combustible a una central de energía que abastecía de electricidad a la ciudad de Caracas. Cuando se produjo la ignición del tanque murieron dos trabajadores. Después de 6 horas de intenso fuego, se produjo un derrame extremadamente violento. Más de 150 personas resultaron muertas, una

cifra superior de heridos, varios desaparecidos y 50 millones de dólares en pérdida. Cuarenta de las víctimas eran bomberos.



Condiciones Necesarias para que Ocurra

1- Combustible con amplio rango de ebullición

Como por ejemplo: petróleo crudo, fuel oil, diésel pesado. No suele ocurrir con sustancias puras.

2- Presencia de agua

Debe existir agua en el fondo del tanque mezclada como emulsión, por proveniente de lluvia, por condensación, por operaciones de mantenimiento. Sin agua prácticamente no existe boilover.

3- Incendio prolongado

El fuego debe mantenerse durante un tiempo suficiente para transmitir calor hacia abajo. En grandes tanques pueden transcurrir varias horas.

4- Formación de una capa caliente o “Hot Zone”

Es probablemente el concepto más importante. La “hot zone” es una capa interna del combustible cuya temperatura permanece elevada y desciende lentamente hacia el fondo del tanque debido a la destilación y transferencia de calor. Cuando alcanza el agua, esta puede sobrecalentarse y vaporizarse de forma explosiva.

Consecuencias

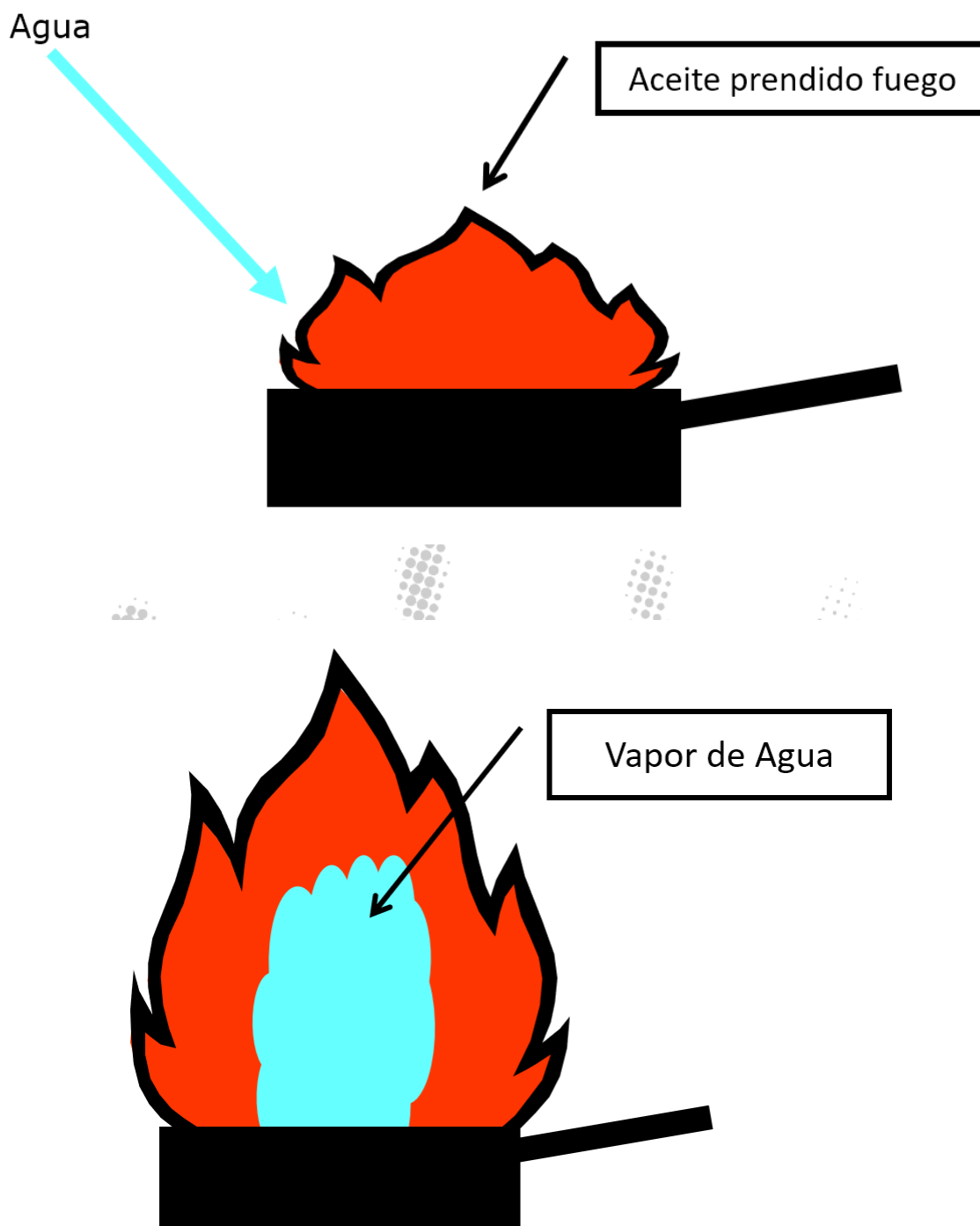
Durante un boilover pueden producirse:

- Enormes bolas de fuego
- Lluvia de combustible ardiendo
- Incendios secundarios
- Incendios de la contención
- Afectación de tanques vecinos
- Colapso estructural
- Quemaduras masivas
- Destrucción completa de instalaciones

En grandes tanques el combustible puede proyectarse a varios cientos de metros, comprometiendo instalaciones vecinas y al personal de respuesta.

9.3) Derrame Superficial (Slopover)

Este derrame puede producirse cuando se aplica un chorro de agua a la superficie caliente del aceite incendiado, siempre y cuando el aceite sea viscoso y su temperatura supere la del punto de ebullición del agua.



El aceite comestible tiene un punto de ignición superior a los 300 °C, si este aceite se prende fuego, como por ejemplo sucede en las freidoras de las cocinas, y se le arroja agua, en forma inmediata el agua se evapora, se expande 1.700 veces produciendo el inflado de las llamas haciendo que estas crezcan varios metros en tamaño, además, de producir proyecciones de aceite encendido hacia todos lados.

Puesto que en este fenómeno solamente participa el aceite superficial, el suceso es de importancia relativa, aunque en un ambiente de cocina es sumamente peligroso por el daño al personal de cocina y la propagación del incendio.

9.4) Derrame por Espumación (Frothover)

Se produce en recipientes que contienen aceites minerales viscosos a altas temperaturas, pero no inflamados, cuando el agua situada bajo la superficie entra en ebullición. Un ejemplo típico puede ser el del asfalto caliente cuando se carga en una cisterna que contiene algo de agua. El primer asfalto se enfría al contacto con el metal frío; al principio no sucede nada, pero cuando el agua se calienta y comienza a hervir, el asfalto rebosa por encima de la cisterna.

Puede producirse una situación similar cuando un depósito que contiene agua en el fondo (o una emulsión acuosa) recibe una carga de aceites minerales residuales de baja calidad a temperaturas inferiores a los 93 °C y más tarde una carga importante de residuos calientes a temperaturas de 149 °C o más. Cuando ha transcurrido suficiente tiempo para que los residuos calientes alcancen al agua en el fondo, puede producirse una ebullición prolongada del agua, que llega a hacer saltar la tapa del depósito y esparcir una espuma aceitosa en una superficie bastante extensa.

9.5) Limitaciones Impuesta por la Conductividad Eléctrica

El tema que se tratará ahora es delicado y también lo es acotar valores numéricos, porque esos valores se refieren nada menos a las condiciones en que un ser humano puede actuar con seguridad en la extinción, por medio del agua, de fuegos que involucran instalaciones eléctricas bajo tensión.

Debido a que el agua en su estado natural contiene impurezas que la hacen conductora de la electricidad, la aplicación de agua a fuegos que involucren

equipos eléctricos bajo tensión no es generalmente una buena práctica, especialmente cuando se trate de equipos eléctricos con altos voltajes. En rigor, no es el voltaje, sino la cantidad de corriente o el amperaje, lo que determina la magnitud del peligro. ***El agua no es apta para combustible o fuegos clase C.***

“Existe un serio peligro cuando el operador se encuentra sobre un chorro de agua o sobre una superficie húmeda y entra en contacto con conductores eléctricos bajo carga. En tales casos el cuerpo es parte de un circuito eléctrico y la carga proveniente de la instalación se disipa a través del cuerpo hacia tierra con mayor facilidad que cuando el operador se encuentra sobre una superficie seca y no conductora.”

Constituye una muy buena práctica cortar la corriente eléctrica que va hacia el equipo que se está quemando, para reducir el daño, pero esa práctica está contraindicada cuando la falta de luz o de energía perjudica la operación. En el caso de línea de alto voltaje hay que advertir que aun cuando se corte la corriente puede quedar un potencial peligroso durante un cierto tiempo. Si en el circuito existen capacitores, o hay algún cable que por circunstancias de cualquier índole tenga capacidad (efecto de condensadores), la corriente puede tardar algún tiempo en disiparse.

Cuando en un fuego aparecen comprometidos equipos eléctricos, siempre existe el peligro de falla (corto circuito). Aun cuando la resistencia eléctrica de un chorro de agua es relativamente elevada, bajo ciertas condiciones pueden ser conducidas cantidades peligrosas de corriente eléctrica a través de una manguera que descarga un chorro compacto. Por ese motivo se han conducido una buena cantidad de estudios muy detallados, a fin de establecer las distancias seguras mínimas entre las boquillas de las mangueras y los conductores cargados con altos voltajes. Debido a las múltiples variables que esas mediciones implican, los resultados de esos estudios deben tomarse con cautela, pero en general

suministran un conocimiento básico sobre la naturaleza del problema y su magnitud.

La distancia segura de operación con una manguera de agua varía considerablemente según el contenido de sales del agua, que influye sobre su resistividad eléctrica. La resistividad varía según la procedencia del agua. La Tabla siguiente da las distancias seguras, en pies, para las líneas de alto potencial. Esas distancias están basadas en una corriente máxima de 3 mA, admitida como peligrosa para cualquier persona que sostenga la lanza.

Hay que considerar que usar una línea de agua en instalaciones energizadas requiere entrenamiento en instalaciones especializadas y contar con experiencia, y debe ser la última opción en el proceso de extinción.

Resistividad del agua (ohm x cm³)								
Voltios	500	1.000	1.500	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000
	Mínimas distancias seguras (pies⁸)							
440	11	7	5,5	4,5	3	3	3	3
1.100	30	18	14	12	8,5	6,5	5,5	5
2.200	-	30	23	20	15	12	9	8
4.400	-	35	31	28	23	19	16	15
6.600	-	-	34	33	30	26	23	22
13.200	-	-	-	-	33	31	29	28
22.000	-	-	-	-	-	-	-	-

El Agua Destilada

El agua conduce la electricidad porque tiene en estado natural minerales. El agua destilada es agua natural que ha sido sometida a un proceso de destilación que permitió limpiarla y purificarla.

En estas condiciones y ante la ausencia de minerales el agua destilada no es conductora de la electricidad y sirve para combustibles o fuegos clase C.

⁸ 1 pie = 0,3048 metro

En la práctica cotidiana hay que ser muy cuidadoso con el uso de extintores portátiles de agua destilada, por varias razones: primero es la calidad del agua destilada, su lugar de almacenamiento y manipulación posterior; segundo lo representa la calidad y material del recipiente, y la limpieza del mismo antes de cargarlo; y tercero y no menos importante son las garantías que puede ofrecer la empresa que hace el servicio de recarga y mantenimiento del equipo.

9.6) Los Efectos de la Tensión Superficial sobre el Agua

La Tensión Superficial no es una limitación del agua. Es una propiedad de los líquidos. En el agua esta característica produce dos limitaciones como agente extintor:

- Explica el enfriamiento superficial.
- La limitación para mojar o humedecer.

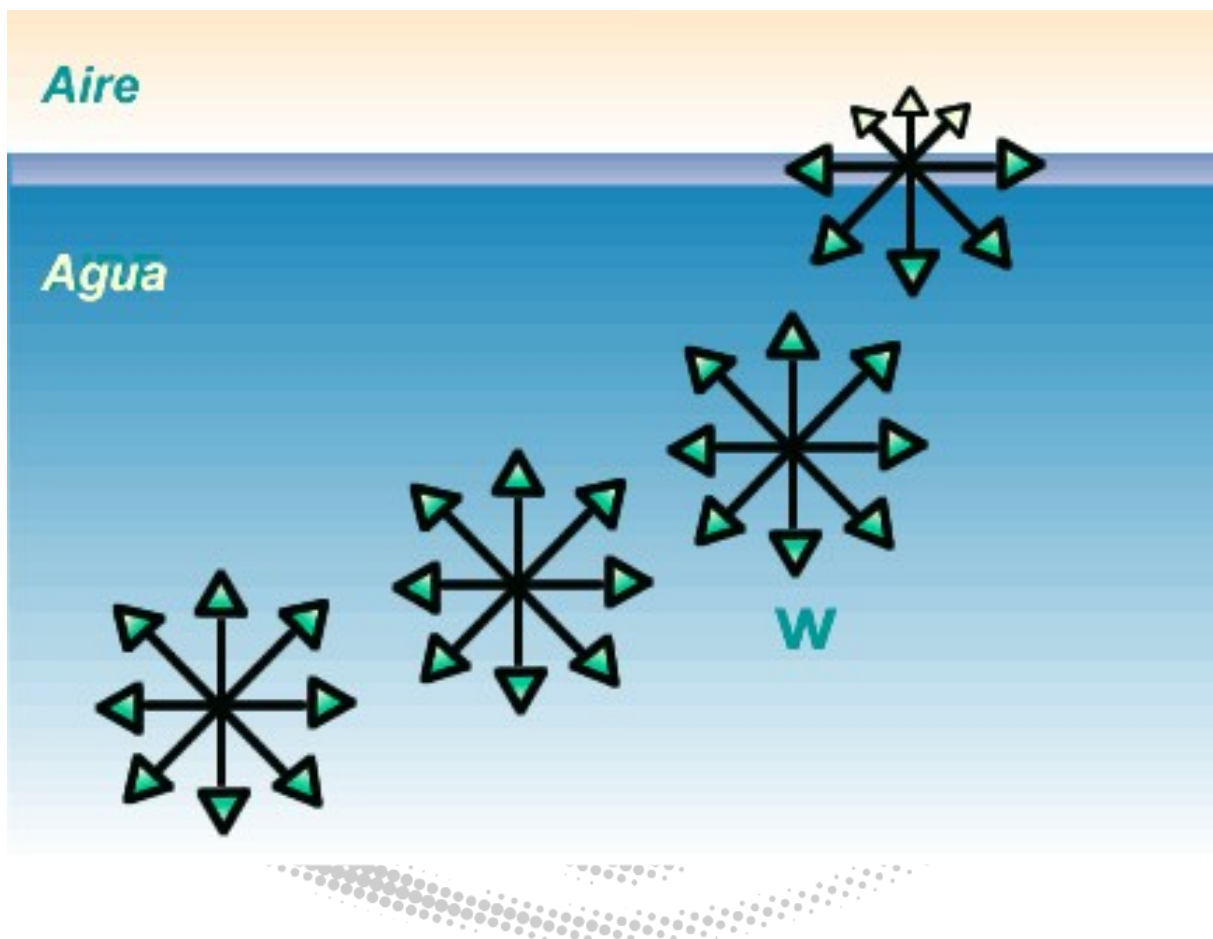
9.6.1) ¿Qué es la Tensión Superficial?

En física se denomina tensión superficial al fenómeno por el cual la superficie de un líquido tiende a comportarse como si fuera una delgada película elástica. Este efecto permite a algunos insectos, como el zapatero, desplazarse por encima del agua, y es el causante de la capilaridad.

Esta tensión superficial se debe a que las fuerzas que afectan a cada molécula son diferentes en el interior del líquido y en la superficie del mismo.

En el interior de un líquido (a nivel microscópico) una molécula es atraída por todas las que le rodean (fuerzas de cohesión), de manera que el efecto total es nulo, es decir, cada molécula está sometida a fuerzas de atracción que en promedio se anulan, las moléculas están en equilibrio.

En la superficie del líquido, que está en contacto con el aire, las fuerzas que atraen a las moléculas hacia abajo no pueden ser neutralizadas por las débiles fuerzas de las moléculas superiores del aire, y por lo tanto la superficie del líquido se encuentra desequilibrada.

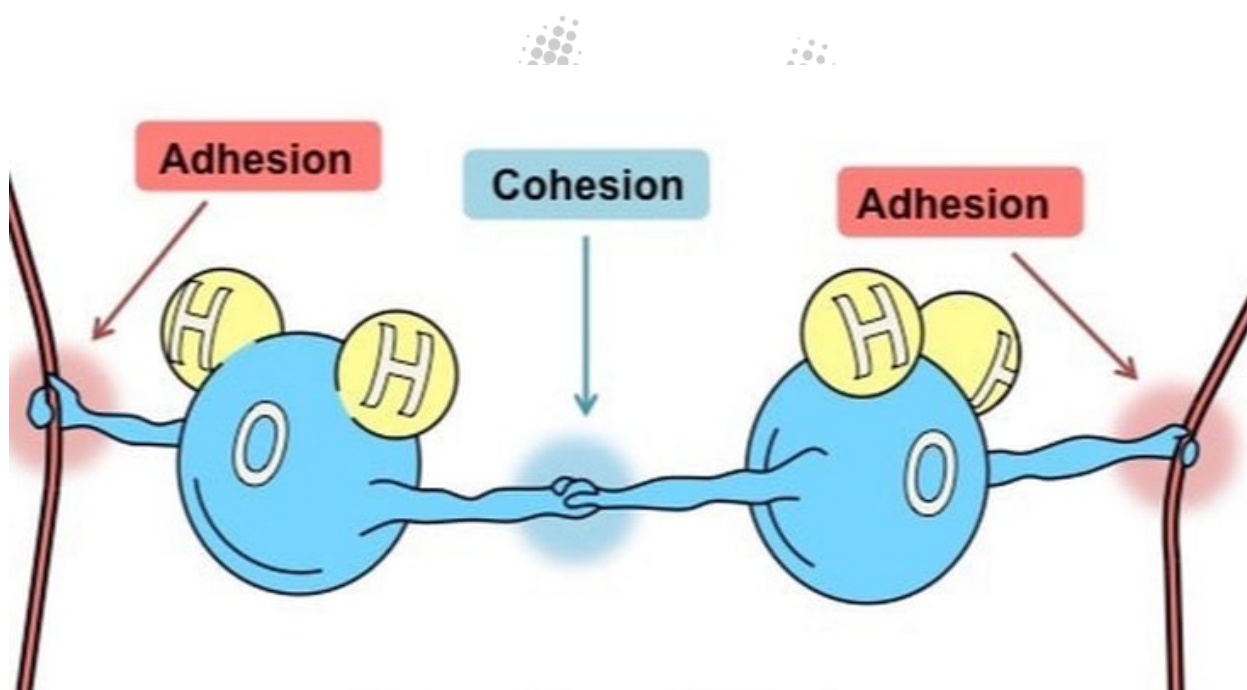


La superficie del líquido se encuentra desequilibrada por las diferencias de fuerzas de adhesión, y como el agua debe intentar el equilibrio, lo logra al disminuir el número de moléculas situadas en la superficie, por lo que se produce una reducción de área hasta el mínimo posible.

La tensión superficial tiene como uno de sus principales efectos la tendencia del líquido a disminuir en lo posible su superficie para un volumen dado. A causa de este hecho los líquidos tienden siempre a presentar la menor superficie libre posible, y así por ejemplo, una gota adopta la forma esférica porque, a igualdad de volumen le corresponde la mínima superficie.

Líquido	Tensión Superficial (10^{-3} N/m) ⁹
Aceite de oliva	33.06
Agua	72.8
Alcohol etílico	22.8
Benceno	29.0
Glicerina	59.4
Petróleo	26.0
Mercurio	487

Otro de los efectos de la tensión superficial tiene que ver con su relación con los bordes del recipiente que la contiene.



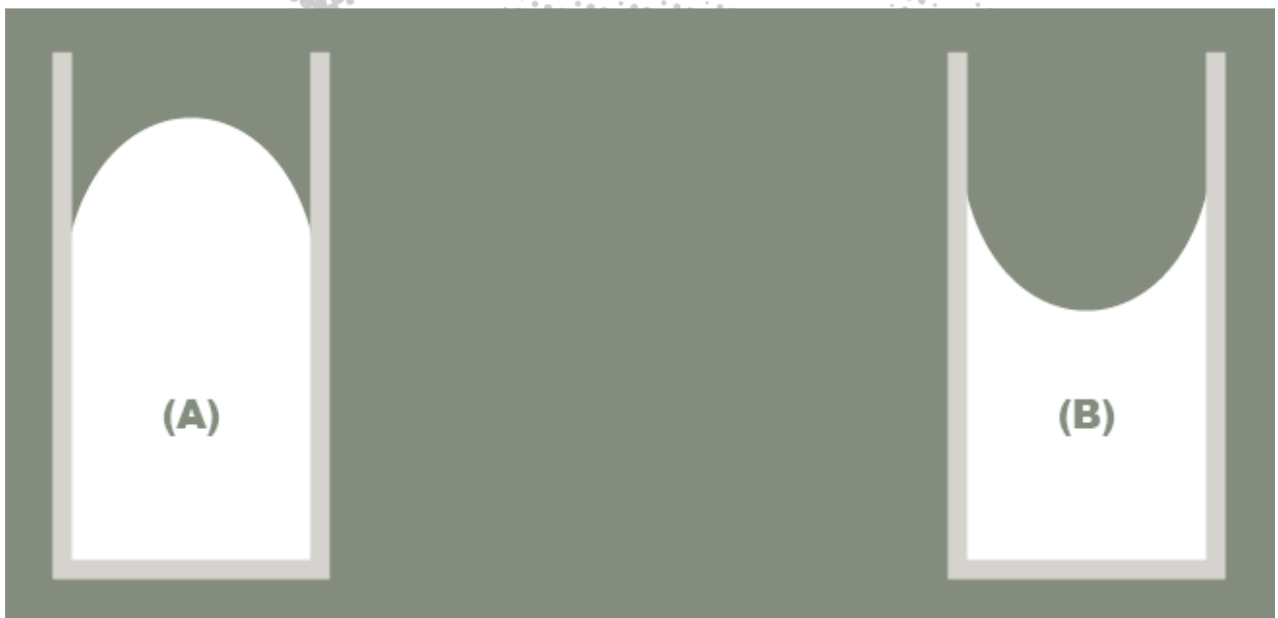
Cuando un líquido está en contacto con un sólido se ponen de manifiesto las siguientes fuerzas: la fuerza de cohesión que se refiere a la atracción que tienen las moléculas por otras de su mismo tipo, y la fuerza de adhesión que es la atracción de moléculas de distinto tipo.

⁹ Fuente: Manual de Física, Koshkin N. I., Shirkévich M. G.. Editorial Mir (1975).

- Si la fuerza de cohesión es mayor que a la fuerza de adherencia, el líquido **NO MOJA** al sólido (A). Ejemplo el mercurio.
- Si por el contrario es mayor la fuerza de adherencia, el líquido **MOJA** al sólido (B). Ejemplo el agua.

Si se echa agua en un tubo de ensayo se verá que se forma un menisco cóncavo (B), y al vaciar el agua siempre quedan gotas adheridas al tubo. Si por el contrario se llena un tubo con mercurio se formará un menisco convexo (A), y al vaciarlo no quedará ninguna gota de mercurio en el tubo.

La mayor fuerza de adherencia sobre la de cohesión se puede observar en un vaso cuando se llena hasta el borde superior con agua, ésta no rebalsa inmediatamente, sino que hace una especie de colchón o sobre espesor por encima del borde del vaso, esto se debe a que el agua “se pega” al borde y no permite que el vaso rebalse.

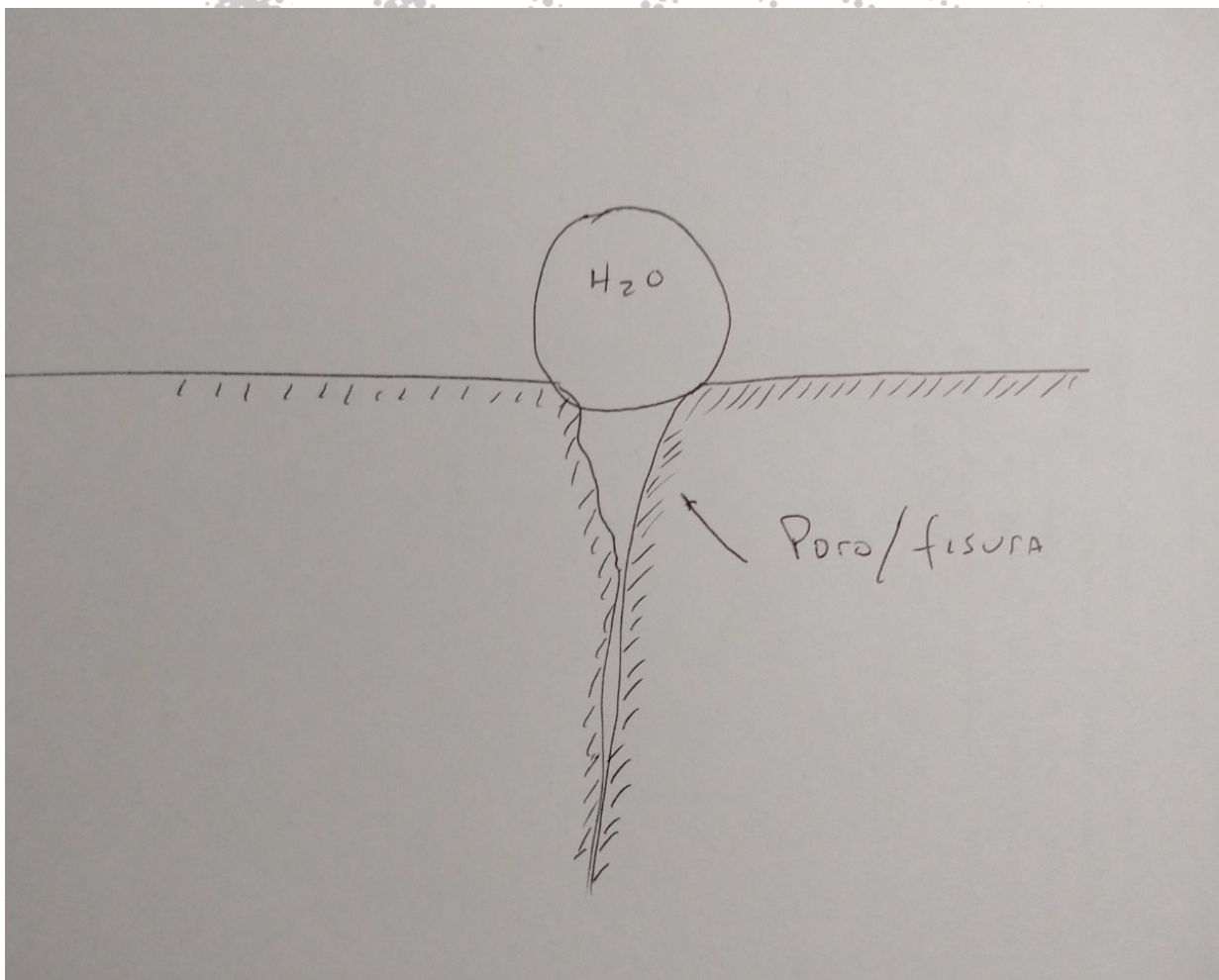


9.6.2) Efectos de la Tensión Superficial sobre el Agua

Los dos efectos que produce la tensión superficial de los líquidos y que limita o disminuye su capacidad extintora se la puede resumir en las siguientes:

Enfriamiento Superficial

La capacidad que tiene el agua de adherirse a las paredes del sólido que lo contiene o por donde circula, produce una importante limitación del agua para penetrar a fuegos en profundidad, el agua se pega al sólido, a los bordes o grietas y no penetra al interior de los graneles o simplemente forma canales en el interior de las pilas de combustibles.



Limitación para Mojar o Humedecer

El agua se “encorva” para presentar la menor superficie posible al aire y con eso lograr el equilibrio mencionado anteriormente; por consiguiente limita la superficie libre por donde el agua puede transferir calor.

9.6.3) Los Agentes Humectantes

Se denomina tensoactividad al fenómeno por el cual una sustancia externa reduce la tensión superficial al disolverse en agua u otra solución acuosa. A estos productos que modifican la tensión superficial se los suele llamar Agentes Humectantes.

Aun cuando el agua, tal como se presenta comúnmente, ha sido reconocida como el agente más práctico para el combate del fuego, en virtud de su disponibilidad casi universal, es posible aumentar la eficacia de sus propiedades extintoras por la adición de agentes humectantes, para lograr un agua que “moje” mejor que el agua común.

Un agente humectante es un agente químico que, agregado al agua común en proporciones adecuadas, disminuye sustancialmente la tensión superficial del agua y aumenta sus propiedades de penetración, difusión, propagación y emulsificación. Cuando esa tensión superficial se reduce, el agua puede extenderse sobre las superficies mucho más fácilmente y su poder de penetración es mucho mayor. La reducción en la tensión superficial permite que el agua con humectantes se extienda sobre un área mucho mayor que una cantidad igual de agua común (sin humectante) y hace también que el agua con humectante se adhiera a las superficies con mayor tenacidad.

El agua con humectantes tiene las mismas propiedades extintoras que el agua común. El elevado calor específico del agua común no resulta afectado por el agregado de un agente humectante, ni tampoco se modifica su calor latente de

vaporización. En consecuencia, la cantidad total de calor que puede absorber el agua no aparece modificada por la adición de un agente humectante, pero, sin embargo, produce un incremento en la eficacia extintora del agua mediante un aumento en la velocidad de absorción del calor para un determinado volumen de agua. Al disminuir la tensión superficial del agua, se produce un aumento en el área superficial libre que el agua presenta para absorber el calor, y de esa forma se reduce sustancialmente el tiempo requerido para que el agua enfríe a un material. Como esto produce un aumento en la eficacia extintora del agua, la consecuencia es que la cantidad de agua necesaria para lograr un enfriamiento hasta el nivel requerido, disminuye.

9.6.4) Aditivos Espesantes

La relativamente baja viscosidad del agua hace que ésta se deslice rápidamente por superficies y limite su capacidad para apagar un fuego, mediante la formación de una barrera sobre la superficie de los materiales combustibles. Los aditivos para aumentar la viscosidad del agua aumentan su efectividad sobre ciertos tipos de incendios.

El agua viscosa es agua común a la que se le han añadido uno o varios agentes espesantes. En proporciones adecuadas, el agua viscosa reúne las siguientes ventajas sobre el agua común:

- Se adhiere y fija fácilmente al material en combustión.
- Se extiende en forma de recubrimiento continuo sobre la superficie del combustible.
- Forma una capa varias veces mayor al espesor del agua común.
- Puede proyectarse con lanzas de chorro compacto a mayor distancia y altura.

- Después de secarse forma una película dura y seca que aísla el combustible del oxígeno.

Como desventajas del agua viscosa pueden citarse:

- No penetra en los combustibles como el agua común o el agua húmeda.
- Aumenta las pérdidas por fricción en mangueras y tuberías.
- Aumenta el tamaño de las gotas de agua.
- Hace más resbaladizas las superficies donde se aplica, dificultando el andar sobre ellas.

Hasta ahora, la mayor parte de las investigaciones sobre la aplicación del agua viscosa, se han centrado en la lucha contra incendios forestales.

9.7) Limitaciones Impuestas por la Reactividad con Ciertos Materiales

Algunos de los principales materiales que reaccionan con el agua generando calor y gases inflamables son:

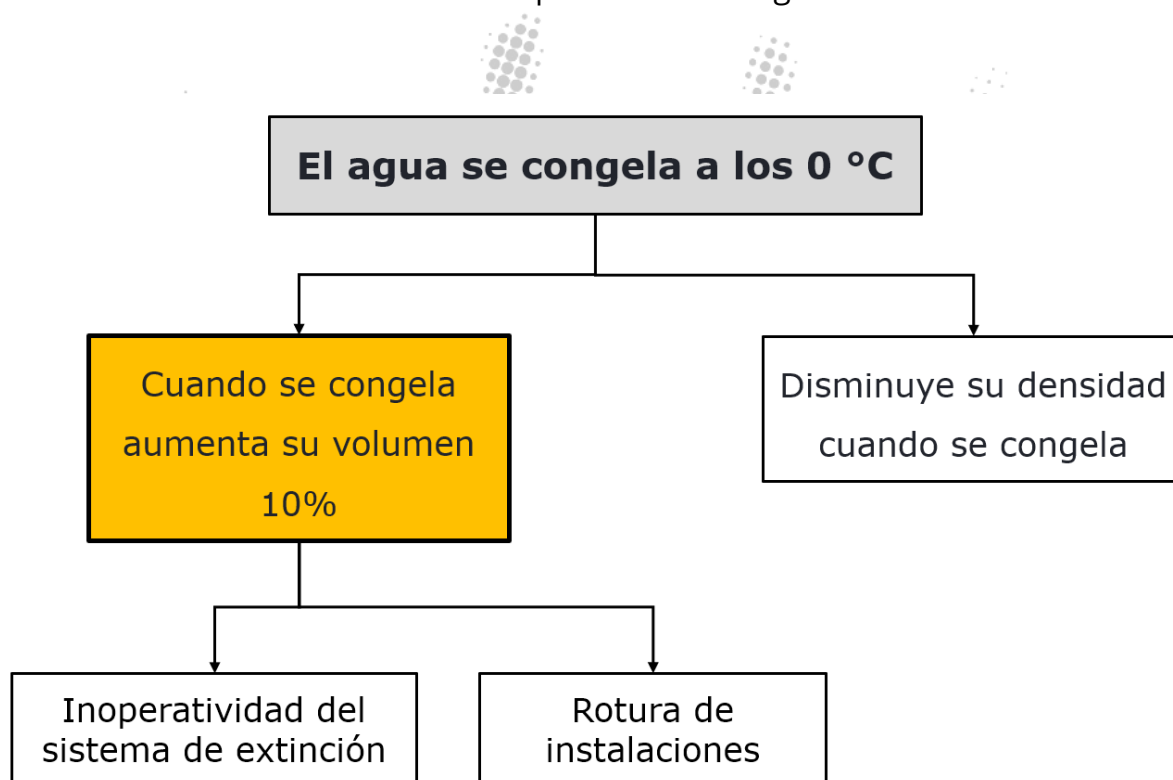
- Carburos
- Peróxidos
- Sodio metálico
- Polvos de magnesio, etc.

Estos materiales plantean problemas muy críticos en la extinción del fuego. Cuando se produce un fuego en lugares en donde esos productos están almacenados, o en zonas próximas, puede ser muy difícil controlarlo por el riesgo de que el agua incremente el fuego o genere explosiones al entrar en contacto con esos materiales.

En todos aquellos casos en que la reacción del producto con el agua sea violenta, los materiales reactivos deberán almacenarse en áreas separadas, resistentes al fuego, tomando los recaudos para que no exista la posibilidad de un fuego que requiera agua para su extinción.

9.8) Limitaciones Impuestas por la Temperatura de Congelamiento

En climas o lugares sujetos a temperaturas del orden de cero grado centígrado o menores, debe tenerse presente la posibilidad de que el agua destinada a la extinción de incendios alcance su temperatura de congelamiento.

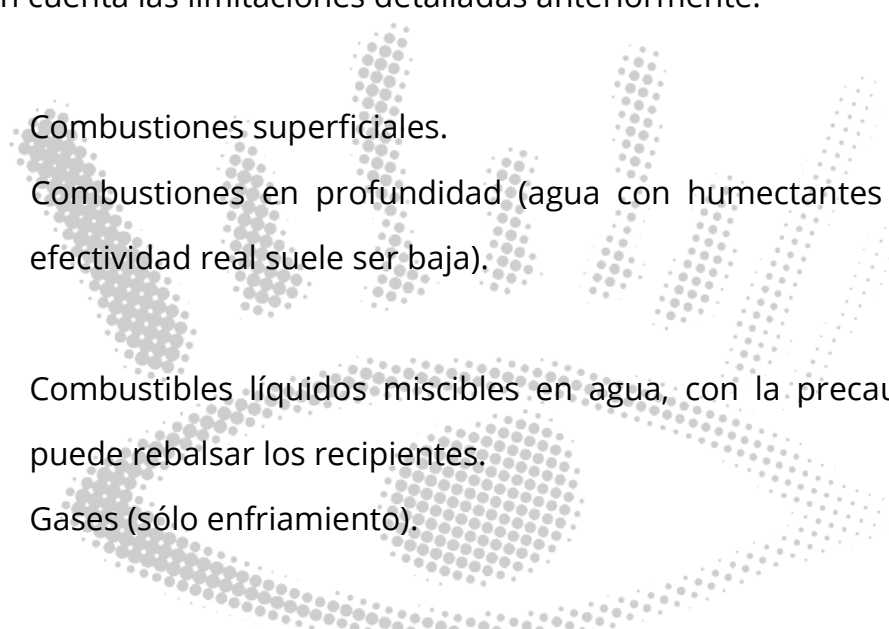


El fenómeno de solidificación del agua no se produce en forma instantánea al llegar a cero grado centígrado la temperatura ambiental, sino que aparece vinculado con una serie de factores, entre los cuales hay que mencionar la duración de la exposición previa a la temperatura ambiental, la cantidad de agua puesta en juego, la temperatura inicial de la masa de agua en cuestión, etc.

El problema que presenta el agua congelada dentro de las instalaciones contra incendios, además, de la obvia inutilización temporal de la misma, es que se expande a medida que se congela, por consiguiente si el agua no se puede expandir en el sentido longitudinal, dado que la instalación se encuentra cerrada, lo hará en sentido radial rompiendo las cañerías.

10) TIPOS DE COMBUSTIBLES

El agua se puede usar para extinguir los siguientes tipos de combustibles, siempre teniendo en cuenta las limitaciones detalladas anteriormente:

- 
- Tipo A:** Combustiones superficiales.
Combustiones en profundidad (agua con humectantes y aun así la efectividad real suele ser baja).
- Tipo B:** Combustibles líquidos miscibles en agua, con la precaución de que puede rebalsar los recipientes.
Gases (sólo enfriamiento).
- Tipo C:** Agua común. En general no se debe usar. Si se usa, sólo se debe hacer bajo condiciones especial de aislamiento y entrenamiento.
Agua Destilada.
- Tipo D:** Como norma general el agua no sirve, salvo casos muy especiales, para metales combustibles incendiados.
- Tipo K:** El agua no sirve, y es peligroso su uso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Manual NFPA de Protección Contra Incendios – Editorial MAPFRE NFPA - Cuarta Edición en castellano – 1993.
- Protección Contra Incendios. Ing. Oscar Marucci. Edición UTN
- Manual del Bombero. Técnicas de actuación en siniestros. Edición MAPFRE 1997
- Manual de Instalaciones Contra Incendio. DEMSA. Enero 2019.
- Seguridad Contra Incendios. DEMSA. Edición 2020.

