



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO DE MÁSTER

**Máster en Ingeniería Química**

**COMBUSTIÓN Y RESISTENCIA AL FUEGO DE  
CONTENEDORES DE BASURA**



**Volumen I**

**Memoria y anexos**

**Autora:** Sara Canosa Rodiño

**Directora:** Eulàlia Planas Cuchi

**Departamento:** Departamento de Ingeniería Química

**Convocatoria:** Octubre 2017

## Objeto

---

El objeto de este documento es la realización del Trabajo Fin de Máster de la titulación de Máster en Ingeniería Química, según el plan de estudios de esta titulación en la Universitat Politècnica de Catalunya.

Para la obtención de este título se ha realizado el presente trabajo titulado “Combustión y resistencia al fuego de contenedores de basura” en el cual se han aplicado e integrado los conocimientos adquiridos en el resto de asignaturas de la titulación.

En el presente estudio se analizan las diferentes características de los depósitos más comunes que se pueden encontrar en España así como los distintos residuos que en ellos se pueden depositar y que, por lo tanto, serán la fuente de combustible en caso de que se produzca un incendio. La caracterización del humo también será un punto clave ya que dependiendo de lo que se queme, este puede ser muy tóxico y peligroso tanto como para los seres vivos como para el medio ambiente. Finalmente, también se realizará un análisis de diferentes sistemas de protección y prevención para evitar este tipo de incendios.

## Resumen

---

En el presente trabajo se lleva a cabo un estudio de la combustión de los contenedores de basura analizando los distintos tipos de depósitos que hay en el mercado y los tipos de residuos que se pueden encontrar en ellos. Por otra parte también se estudiará la resistencia al fuego de los mismos y se detallarán distintas maneras de evitar la quema de ellos.

En primer lugar, se ha realizado una pequeña revisión de distintos accidentes ocurridos que están directamente relacionados con la quema de contenedores para poder extraer diferentes factores que se repiten en todos ellos. Se han descrito los distintos contenedores que se pueden encontrar en el mercado dependiendo de la marca que los fabrique, que en este caso son Thesal y Ros Roca y, con diferentes contenedores de esta segunda marca, se han realizado dos pruebas de resistencia al fuego con la ayuda de los bomberos. También se han calculado las características de un incendio de ese tipo de manera teórica para poder relacionarlo con los datos experimentales.

A continuación, se presentan diferentes propuestas preventivas para evitar que los contenedores de basura sean objeto de actos vandálicos o que en el caso de que lo sean, los desperfectos causados sobre los mismos y sobre el entorno sean los mínimos. También se estudian tanto los humos producidos en un incendio así como los efectos negativos que estos provocan a los seres humanos.

Finalmente, se puede afirmar que la quema de contenedores, generalmente, no solo afecta al depósito en sí, sino que también afecta a cualquier mobiliario que haya alrededor ya sean vehículos, otros contenedores o árboles y para evitarlo el sistema de protección más común consiste en enterrar los depósitos construyendo almacenamientos subterráneos. Por otra parte, los retardantes del fuego como la lana de roca o la fibra de vidrio resultan especialmente útiles para evitar tanto la propagación del fuego como para minimizar los efectos de este incluso si solo se incorporan en la tapa del depósito.

## Resumo

---

No presente traballo lévase a cabo un estudo da combustión dos contenedores de lixo analizando os distintos tipos de depósitos que hai no mercado e os tipos de residuos que pódense atopar neles. Por outra parte, tamén se estudará a resistencia o lume dos mesmos e se detallarán as distintas maneiras de evitar a queima deles.

En primeiro lugar, realizouse unha pequena revisión dos distintos accidentes que están directamente relacionados coa queima de contenedores para poder extraer diferentes factores que se repiten en todos eles. Describíronse distintos contenedores que pódense atopar no mercado dependendo da marca cos fabrique que, neste caso, son Thesal y Ros Roca e, con diferentes contenedores desta segunda marca fixéronse dúas probas de resistencia o lume coa axuda dos bombeiros. Tamén calculáronse as características dun incendio desde tipo de maneira teórica para poder relacionalo cos datos experimentais.

A continuación, preséntanse diferentes propostas preventivas para evitar que os contenedores de lixo sexan obxeto de actos vandálicos ou, no caso de que o sexan, os danos causados sobre eles e sobre ao medio ambiente sexan os mínimos. Tamén se estudou o fume producido nun incendio e os efectos negativos que causan para os seres humanos.

Finalmente, pódese afirmar que a queima de contedores, polo xeral, non só afecta ao depósito en si mesmo, senón que afecta a calquera mobiliario que se atopa ao redor como por exemplo vehículos, outros contenedores ou árbores e para evitalo o sistema de protección máis común consiste en depósitos soterrados. Doutra banda, os retardantes de lume, como a la de roca ou a fibra de vidro, son especialmente útiles para evitar tanto a propagación do lume como para minimizar os efectos do mesmo aínda que só se incorporen na tapa do depósito.

## Resum

---

En el present treball es porta a terme un estudi de la combustió dels contenidors de brossa analitzant els diferents tipus de dipòsits que hi ha al mercat i els tipus de residus que es poden trobar en aquests. D'altra banda, també s'estudiarà la resistència al foc dels mateixos i es detallarà diferents maneres d'evitar la crema d'aquests.

En primer lloc, s'ha realitzat una petita revisió de diferents accidents ocorreguts que estan directament relacionats amb la crema de contenidors per poder extreure diferents factors que es repeteixen en tots ells. S'han descrit els diferents contenidors que es poden trobar en el mercat depenent de la marca que els fabriqui, que en aquest cas són Thesal y Ros Roca i, amb diferents contenidors de segona marca, s'ha realitzat dos probes de resistència al foc amb l'ajuda dels bombers. També s'ha calculat les característiques d'un incendi d'aquest tipus de manera teòrica per poder relacionar-lo amb les dades experimentals.

A continuació, es presenten diferents propostes preventives per evitar que els contenidors de brossa siguin objecte d'actes vandàlics o que en el cas que ho siguin, els desperfectes causats sobre aquests i sobre l'entorn siguin mínims. També s'estudia tant com els fums produïts en un incendi així com els efectes negatius que aquests provoquen als éssers humans.

Finalment, es pot afirmar que la crema de contenidors generalment, no només afecta al dipòsit en si, sinó que també afecta a qualsevol mobiliari que hi hagi al voltant ja siguin vehicles, altres contenidors o arbres i per evitar-ho el sistema de protecció més comú consisteix en enterrar els dipòsits construint emmagatzematges subterranis. D'altra banda, els retardants del foc com la llana de roca o la fibra de vidre resulten especialment útils per evitar tant com la propagació del foc com per minimitzar els efectes d'aquest inclús si només s'incorporen en la tapa del dipòsit.

## Abstract

---

Over the present work, a study of the combustion process involving trash disposal containers; analyzing the different kind of containers that are currently available in the market, as well as, the waste that can be found in them. Moreover, the fire resistance of the containers will also be studied thoroughly, and how to avoid the possible burning.

Firstly, a superficial review of accidents that are directly related to the burning of waste disposal containers will be performed, in order to extract different common factors among all of them. All the containers that are available for purchase have been described, separating them by their builder brand; which in this case are Thesal and Ros Roca. Two fire resistance tests have been performed in Ros Roca containers with the support of the fire fighting department. Calculations of a theoretical fire have also been calculated correlating them with the experimental data.

Following, the next section presents proposals involving the prevention of the containers suffering from vandalizing, and in the case of occurring, minimizing the consequences of these actions on the containers and surroundings. A study of the fumes produced in a fire, as well as, the negative effects that can affect humans, have been performed.

Finally, it can be affirmed that the burning of waste disposal containers, generally, not only affects the container itself, but also any other adjacent property; may it be: vehicles, other containers, trees, etc. In order to avoid or minimize the damage, the most common protection system consists in burying the containers in underground storage units. On the other hand, fire retardants such as rock wool or glass fiber are especially useful to avoid both the damaging effects and the propagation of the fire, even if the fire retardant is only applied to the lid of the container.

## Contenido

V <sup>o</sup> de autorización de defensa de trabajo fin de máster .....	1
Objeto.....	2
Resumen.....	3
Resumo.....	4
Resum.....	5
Abstract.....	6
1. Introducción.....	10
1.1 Objetivo .....	10
1.2 Revisión de accidentes ocurridos .....	10
2. Prefacio.....	13
2.1 Combustión.....	13
2.2 Transferencia de calor.....	16
3. Composición de los contenedores.....	19
3.1 Contenedores convencionales .....	19
3.1.1 Ros Roca.....	19
3.1.2 Thesal.....	22
3.2 Contenedores con sistemas de protección.....	26
4. Composición de los residuos.....	30
4.1 Biorresiduos .....	32
4.2 Envases ligeros .....	33
1. Plásticos.....	33
2. Tetra-brik.....	35
3. Metales.....	35
4.3 Papel y cartón.....	36
4.4 Vidrio.....	37
4.5 Fibras y textiles .....	38
4.6 Productos de madera y derivados.....	38

4.7	Otros residuos.....	39
5.	Tipos de combustibles .....	40
5.1	Clasificación.....	40
5.1.1	Combustibles sólidos.....	41
5.1.2	Combustibles Líquidos .....	42
5.1.3	Gases Combustibles .....	42
6.	Incendio de contenedores .....	43
6.1	Incendio experimental .....	43
6.1.1	Experimento con un solo contenedor .....	44
6.1.2	Experimento con un grupo de contenedores .....	47
6.1.3	Análisis de los resultados obtenidos.....	54
6.2	Incendio teórico .....	55
6.3	Cálculos de un incendio teórico.....	61
6.3.2	Contenedor vacío .....	61
6.3.3	Contenedor con residuos.....	64
7	Propuesta preventiva .....	66
7.1	Medidas de protección pasiva.....	66
1.	Contenedores metálicos (ignífugos).....	66
2.	Contenedores con retardantes.....	67
3.	Contenedores subterráneos.....	68
4.	Recogida neumática de residuos.....	68
5.	Separación mínima entre contenedores.....	69
6.	Rodear los contenedores de un bordillo.....	69
7.	Evitar aparcamiento y árboles cerca.....	70
7.2	Medidas de protección activa.....	70
1.	Contenedores con detectores de humo.....	70
2.	Contenedores inteligentes .....	71
8	Toxicidad de los humos .....	72



8.1	El humo.....	72
	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).....	73
	Monóxido de carbono (CO).....	73
	Cloruro de hidrógeno (HCl).....	74
	Sulfuro de hidrogeno (H <sub>2</sub> S).....	74
	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ).....	74
	Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ).....	75
	Acroleína (C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O).....	75
	Fosgeno (COCl <sub>2</sub> ).....	76
	Amoniac (NH <sub>3</sub> ).....	76
	Cianuro de hidrógeno (HCN).....	76
8.2	Efectos de los humos y gases tóxicos.....	77
9	Evaluación de Impacto Ambiental.....	79
9.1	Introducción.....	79
9.2	Efectos sobre el ser humano, la fauna y la flora.....	79
9.3	Efectos sobre el suelo, el aire, el clima y el paisaje.....	79
9.4	Efectos sobre los bienes materiales y el patrimonio cultural.....	80
10	Comparación económica entre contenedores con y sin aislante térmico.....	81
11	Conclusiones.....	83
12	Referencias bibliográficas.....	86
	1. Documentos, libros y manuales.....	86
	2. Páginas web.....	86
Anexo I.....		89
Anexo II.....		97
Anexo III.....		126
Anexo IV.....		140

# 1. Introducción

---

En este capítulo de introducción se explicará el objetivo principal de este trabajo y se revisarán accidentes ocurridos debido a la quema de contenedores.

## 1.1 Objetivo

Los incendios en contenedores de basura son frecuentes y pueden suponer un riesgo importante de propagación hacia vehículos estacionados cerca de ellos o incluso hacia establecimientos o viviendas.

El objetivo principal del presente trabajo consiste en realizar un análisis completo de la combustión y resistencia al fuego de los contenedores de basura, teniendo en cuenta, tanto los diferentes modelos que se pueden encontrar en el mercado como los distintos residuos que en ellos podemos encontrar y por lo tanto, la contaminación e impacto ambiental que tanto el incendio como el humo pueden ocasionar sobre el medio ambiente y los seres vivos.

Para ello, se comenzará este estudio revisando distintos accidentes ocurridos en España derivados de la quema de contenedores ya que de ellos se puede extraer cierta información que será útil en el resto del estudio. A la hora de seleccionar los accidentes a analizar se ha decidido utilizar aquellos de los cuales se disponía mayor información ya que en muchos casos las propias fuentes informativas aportan datos erróneos o insuficientes.

## 1.2 Revisión de accidentes ocurridos

En primer lugar, según el periódico *20 minutos* [1] los actos vandálicos contra los contenedores de Madrid han ido en aumento y durante los primeros seis meses del año 2015 el ayuntamiento tuvo que reponer un total de 33.421 contenedores de basura debido a que han resultado quemados o rotos. Esta cifra supone alrededor del 10% de los contenedores de la capital y conlleva un gasto anual de más de cinco millones de euros por lo que resulta de vital importancia el poder disminuir esta cifra lo máximo posible.

Por otra parte, en *el diario de Burgos* [4] informan de que arden más de 40 contenedores en la ciudad cada año y que normalmente, el momento preferido por los vándalos, es el fin de semana. Cada contenedor nuevo supone un gasto de más de 2.000 euros, ya que la mayor parte de las ocasiones hay que cambiarlo por completo. Otras veces, se puede hacer

alguna reparación, como la sustitución de las tapas, que son las que más suelen verse afectadas, con lo que la factura se aminora hasta los 700 euros aproximadamente.

A continuación se detallan algunos de los accidentes ocurridos en España desde el año 2015 hasta la actualidad:

1. Tal y como se puede leer en *el periódico de Aragón* [2] un turismo y cinco contenedores de basura han ardido en Zaragoza en la madrugada del 24 de julio del 2015. Los incendios se han producido en un corto intervalo de tiempo, entre las 01,00 y las 2,52 horas en distintas calles de la ciudad por lo que se piensa que han sido provocados por un pirómano. Los bomberos evitaron que las llamas causaran otros daños importantes en una finca particular.
2. El periódico *el mundo* [3] informa que los bomberos, agentes de la Policía Local y de la Policía Nacional de Menorca han participado durante la noche del 21 de enero del 2016, en el operativo para la extinción del incendio de 10 contenedores de basura en la vía pública y en la búsqueda del autor de estos hechos. Según han informado fuentes municipales, durante esa semana se han registrado otras actuaciones similares, por lo que se investiga a un posible pirómano.
3. En el *Diario de León* [5] publica la noticia de que La Guardia Civil de Villablino (León) ha detenido a un varón de 21 años de edad al que considera presunto autor de la quema de once contenedores el 24 de Julio del 2016. Se estima que la cuantía de los daños causados asciende a unos 4.000 euros por acto vandálico ya que el fuego no sólo afectó a los contenedores, sino que produjo daños en el mobiliario urbano, la iglesia parroquial y un camión de una empresa de reparto de gasóleos al propagarse las llamas.
4. Tal y como se puede leer en *la cadena ser* [6] han resultado quemados nueve contenedores en seis calles distintas de Guadalajara en la primera semana del 2016. En estos incendios se quemaron también algunas ramas de algunos árboles y también se vio afectado un vehículo. Tras la quema de varios contenedores la semana anterior, se puso en marcha un dispositivo especial de vigilancia que concluyó con la detención de tres menores de edad como presunto autor de la quema de estos contenedores.
5. Según *lasprovincias.es* hasta 17 contenedores ardieron en la playa de Daimús (Valencia) durante la madrugada del martes al miércoles del 9 de Agosto del 2017. Al parecer un pirómano prendió fuego a estos depósitos que estaban repartidos por diferentes calles de la ciudad. Los contenedores ardieron con celeridad y no dio casi tiempo a avisar a fuerzas de seguridad. [7]

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los artículos anteriores:

**Tabla 1: Resumen accidentes**

Noticia	Fecha	Lugar	Causa	Daños causados	Referencia
1	24/07/2015	Zaragoza	Pirómano	5 contenedores	[2]
2	21/01/2016	Menorca	Pirómano	10 contenedores	[3]
3	24/07/2016	León	Pirómano	11 contenedores	[5]
4	02/01/2017	Guadalajara	Pirómano	9 contenedores	[6]
5	09/08/2017	Valencia	Pirómano	17 contenedores	[7]

De todo lo comentado anteriormente, se puede extraer cierta información clave o diferentes factores que se repiten en la mayoría de accidentes relacionados con la quema de contenedores:

- En la gran mayoría de los casos se trata de actos vandálicos y por lo tanto son incendios provocados.
- Los incendios se suelen producir durante la noche o durante la madrugada.
- Los pirómanos suelen quemar más de un contenedor al mismo tiempo y en diferentes lugares, lo que dificulta la extinción de todos ellos.
- La reparación de cada contenedor asciende desde los 2000 euros si hay que cambiarlo por completo hasta los 700 si solo hay que cambiar algunas partes.
- La quema de contenedores generalmente no solo afecta al depósito en sí, sino que también afecta a cualquier mobiliario que haya alrededor ya sean vehículos, otros contenedores o árboles.

## 2. Prefacio

---

Este capítulo está enfocado en establecer una base fundamental acerca de la dinámica del fuego y del proceso de combustión. Se tratarán generalidades sobre la combustión de un fuel y la transferencia de calor; ambos pilares fundamentales en el estudio de los procesos relacionados con la dinámica del fuego.

### 2.1 Combustión

Existen diferentes definiciones de lo que es un fuego, dependiendo de la fuente que se consulte:

- ✓ NFPA 921: “Proceso de oxidación rápida, en el cual una reacción química resulta en la generación de luz y calor en intensidades variantes”.
- ✓ Webster’s dictionary: “Un fuego es una reacción exotérmica que emite calor y luz”.
- ✓ FARLEX: “Cambio químico rápido y persistente que libera luz y calor; y además es acompañada de una llama, especialmente referido a las oxidaciones exotérmicas de una sustancia combustible. [8]

Un incendio solo puede existir si el proceso de combustión es continuo, esto solo ocurre si se cumplen unas ciertas condiciones. Estas condiciones son generalmente resumidas en un cuadrado o tetraedro del fuego, como puede ser observado en la Figura 1. Una llama solo puede iniciarse si una sustancia combustible se mezcla con la suficiente cantidad de agente oxidante, comúnmente oxígeno; y si a su vez esta mezcla se expone a la suficiente energía que permita la ignición. La energía necesaria puede provenir de diferentes fuentes, como por ejemplo una chispa, o incluso la propia temperatura puede ser suficiente si alcanza un valor por encima de la temperatura de autoignición para la mezcla combustible-oxígeno dado. Esta breve explicación cubre las tres caras del tetraedro, pero tan solo garantizaría una reacción de combustión inicial y no su continuidad. Conseguir que la llama perdure depende de conseguir que la rápida oxidación mantenga las reacciones en cadena.

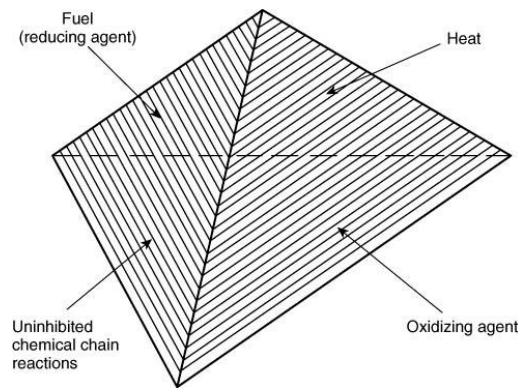


Figura 1. Tetraedro del fuego

Fuente: <http://www.nfpa.org/news-and-research/news-and-media/press-room/reporters-guide-to-fire-and-nfpa/all-about-fire>

Las definiciones de cada una de las caras del tetraedro según la NFPA (National Fire Protection Association) son:

1. *Combustible*: Cualquier sustancia que pueda sufrir combustión. Existe en los tres estados básicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso. Los sólidos y los líquidos no arden directamente, sino que, la combustión ocurre en un área con vapor por encima de la superficie del combustible. Esta región es creada mediante el calentamiento del sólido o líquido por encima de su temperatura de ignición, dándose un proceso llamado pirólisis. Los gases no sufren el proceso de pirólisis en la combustión.
2. *Agente oxidante*: Como ya se ha comentado previamente, el agente oxidante más comúnmente utilizado es el oxígeno. El aire contiene aproximadamente un 21% de oxígeno, pero cuanto mayor es la concentración del oxígeno más intensa será la llama obtenida. Existen otros agentes oxidantes típicos como pueden ser los nitratos, peróxidos, iodo, cloro, etc.
3. *Calor*: La energía inicial requerida para el proceso de combustión ha de ser aportada por una fuente externa como puede ser una chispa o la temperatura ambiente. El calor generado se produce por la reacción exotérmica inherente a la combustión. El calor se transfiere desde áreas de mayor temperatura hacia donde existe una menor concentración de energía, existiendo, por lo tanto, un gradiente de temperatura. El calor se puede transferir de tres maneras: conducción, convección y radiación.

Como previamente se ha mencionado, la combustión ocurre cuando un agente oxidante reacciona con un combustible. La combustión entre hidrocarburos y oxígeno genera como productos  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  principalmente, existiendo otros secundarios. El oxidante utilizado

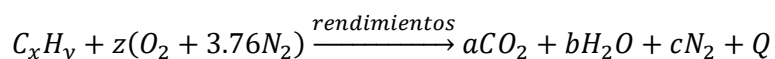
generalmente, es el oxígeno contenido en el aire, por lo tanto, es una mezcla de nitrógeno y oxígeno. En casos reales, las proporciones entre reactivos son raramente estequiométricas. Existen dos posibles casos teniendo en cuenta la no idealidad del sistema: exceso o defecto de oxígeno. Las combustiones con exceso de oxígeno faltan de suficiente combustible para hacer reaccionar todo el oxidante disponible, este es el caso que se da normalmente en incendios abiertos a la atmósfera. Por otro lado, existen incendios con defecto de oxígeno, es decir, hay más combustible disponible que oxidante para reaccionar. Ha de tenerse en cuenta que, en el presente trabajo, todos los casos se refieren a incendios con exceso de oxígeno.

El parámetro que describe la proporción de reactivos en la mezcla es el ratio de equivalencia, esta relación se define mediante el siguiente parámetro adimensional:

$$\phi = \frac{n_{fuel}/n_{ox}}{(n_{fuel}/n_{ox})_{st}} \quad (1)$$

La ratio de equivalencia tiene en consideración la proporción molar entre el combustible y el oxidante, respecto a las condiciones estequiométricas. Si  $\phi = 1$ , entonces la combustión se encuentra en condiciones estequiométricas; si  $\phi < 1$  la mezcla tiene exceso de oxígeno, y por último,  $\phi > 1$  la combustión es rica en combustible y no tiene oxígeno suficiente.

La reacción en un caso en el que la combustión es completa es la siguiente:



Esta reacción es estequiométrica, es decir no existe ni combustible ni oxígeno en los productos y la reacción llega a su conclusión.

En caso de que la combustión sea incompleta, la ecuación anterior cambia drásticamente, especialmente en el caso de que el sistema carezca de oxígeno suficiente. Una combustión con exceso de oxígeno simplemente tendrá la cantidad no reaccionada mezclada con los productos de la reacción. Combustión incompleta debida a falta de oxidante, tendrá como productos resultantes: CO, H<sub>2</sub>, y otros muchos dependiendo de la composición del combustible.

Es importante resaltar que, en el caso de un incendio real, los gases resultantes de la combustión pueden contener cientos de compuestos y afectan al proceso global de combustión.

## 2.2 Transferencia de calor

La dinámica del fuego requiere para su comprensión un amplio abanico de ramas del conocimiento tanto de la física como de la química. Entre estas ramas necesarias de la física, destaca la transferencia de calor. La transferencia de calor ocurre mediante tres mecanismos principalmente: conducción, convección y radiación. Estos tres mecanismos aparecen durante los fuegos, aunque su relevancia varía dependiendo de la etapa en la que se encuentre el incendio.

La conducción es la transferencia de calor que ocurre a través de un material sólido, siguiendo la energía un gradiente de temperatura desde la zona más alta a la más baja. La ley de Fourier ha establecido la correspondencia entre la temperatura y el calor intercambiado entre dos puntos:

$$q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L} \quad (2)$$

Dónde:

- $k$  es la conductividad térmica del material sólido.
- $A$  es el área expuesta.
- $L$  es el grosor del sólido.
- $\Delta T$  es la diferencia de temperature entre ambos puntos.

Este mecanismo de transferencia es especialmente importante en la etapa de ignición y propagación de la llama sobre todo el combustible; el concepto de conducción tiene relevancia en medidas de protección contra incendios.

La convección es otro de los métodos existentes para el intercambio de calor. La convección es producida por el movimiento de un fluido debido a su mayor contenido energético respecto a sus alrededores. La convección ocurre en todas las etapas de un incendio; el aire caliente se mueve disipando la energía producida. Este mecanismo tiene especial importancia en las etapas iniciales del incendio, donde los niveles de radiación térmica son suficientemente bajos como para ser significativos.

La convección puede darse de manera natural o forzada, y esto cambia drásticamente el fuego en cuestión. La convección natural es un flujo autosuficiente causado por las diferencias de densidad generadas por los gradientes de temperatura en el fluido.



Este empuje generado por las diferencias de temperatura modifica drásticamente el tamaño y forma de la llama, así como su comportamiento. La convección forzada ocurre cuando el fluido se encuentra en movimiento, pero este movimiento está generado por una fuerza externa, como puede ser una bomba de impulsión, y, por lo tanto, el movimiento es independiente de las diferencias de densidad. En el caso de convección forzada, existen fuerzas de empuje naturales, pero a menudo, estas son pequeñas en comparación de las generadas externamente. La convección ha sido explicada mediante la ecuación empírica de Newton:

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (3)$$

Dónde:

- $h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección.
- $A$  es el área expuesta.
- $\Delta T$  es la diferencia de temperatura entre dos puntos.

Cabe resaltar que el coeficiente de transferencia de calor por convección depende de varias características del sistema, geometría, propiedades del fluido, etc. Este hecho hace que sea arduo estimar este parámetro en un sistema como un incendio, el cual, no está controlado; ya que, por ejemplo, cambian constantemente la geometría, las propiedades del fluido, etc.

Por último, la radiación es el mecanismo de transferencia de calor en el cual se involucran tan solo ondas electromagnéticas, por lo tanto, no se requiere de ningún medio conductor que una al emisor y al receptor de la energía. La radiación es una forma de energía que puede ser absorbida, transmitida o reflejada en una superficie en todo el espectro electromagnético. Dentro de todos los mecanismos de transferencia, la radiación es el más dominante cuando el fuego está completamente desarrollado, especialmente en incendios con diámetros mayores a 0,3 metros. Se ha de destacar que, la radiación no requiere un medio para transmitirse, y por lo tanto puede aumentar la temperatura de objetos lejanos al foco del incendio, e incluso aumentar la temperatura de otros combustibles por encima de la auto ignición. La radiación ha sido estudiada a través de la ley de Stefan-Boltzmann:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (4)$$

Dónde:

- $\varepsilon$  es la emisividad.

- $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ).
- $E$  es el poder emisivo, el total de la energía térmica emitida.

Un cuerpo negro es un emisor perfecto que tiene una emisividad igual a uno. En un sistema no ideal, tiene que haber algún tipo de relación geométrica entre el emisor y el receptor, la cual se ha denominado factor de vista  $\beta$ , por lo tanto, la radiación se ha de corregir:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \beta \quad (5)$$

Existen grandes diferencias en la capacidad emisiva de un incendio dependiendo de las características del propio fuego y la composición del combustible. Los combustibles de cadena larga producen grandes cantidades de hollín; por otro lado, el metanol se quema sin prácticamente generación de hollín. [10]

## 3. Composición de los contenedores

---

En este capítulo se detallarán los diferentes tipos de contenedores que existen con sus diferentes características dependiendo de la casa que los fabrique.

En la actualidad existen diferentes tipos de contenedores de basura, algunos de ellos disponen de dispositivos de protección que le otorgan una mayor robustez frente a actos vandálicos aunque la mayoría están fabricados mayormente con polietileno. A continuación se expondrán las características principales de cada uno de ellos y los esquemas y las medidas se presentan en el anexo I.

### 3.1 Contenedores convencionales

En España hay dos grandes marcas que fabrican distintos tipos de contenedores y para diferentes tipos de residuos. Estos fabricantes son Ros Roca y Thesal.

#### 3.1.1 Ros Roca

##### *1. Contenedor de carga lateral de inyección*

Esta línea de contenedores ha sido especialmente diseñada teniendo en cuenta a todos sus usuarios ya que facilitan la accesibilidad para las personas con movilidad reducida o aquellas que tienen algún tipo de minusvalía o dificultad.

Estos recipientes están fabricados por inyección y disponen de protección UV de los materiales plásticos. Las piezas metálicas son de acero al carbono con recubrimiento galvanizado en caliente por lo que el contenedor es 100% reciclable.



**Figura 2. Contenedor de carga lateral de inyección.**

Fuente: <http://www.rosroca.com/es/>

#### Características

- Mejora de la articulación de tapas.
- En la descarga, bloqueo de la tapa del usuario con un sistema progresivo.

- El pedal de accionamiento central que evita golpes laterales y averías.
- Las superficies son lisas y sin nervaduras que facilitan la limpieza del mismo.
- Mecanismos protegidos contra la acción directa del agua de lavado.
- La tornillería está unificada
- Fácil carga/ descarga y una buena accesibilidad a la hora de realizar el mantenimiento.
- Menor contaminación acústica debido a la disminución de articulaciones y mecanismos.
- Menor contaminación acústica debido al pedal y maneta con elastómeros en final de carrera y tapa con retardo en cierre.
- Acero al carbono con recubrimiento galvanizado en caliente y electrozincado top coat.
- 100% Reciclable.
- Conforme a la norma UNE-EN 12574-1/2/3.
- Marcado del nivel sonoro de acuerdo con la directiva europea 2000/14/CE.
- Accesibilidad acreditada por informe Fundación Via Libre (FUNDOSA).
- Certificado UNE EN ISO 9001 en diseño y fabricación.
- Certificado UNE EN ISO 14001 en gestión medioambiental.
- Marcado CE.

## 2. Contenedor carga lateral metalo-plástico

Este tipo de contenedores de carga lateral están fabricados por rotomoldeo en polietileno lineal con estructura de acero y su forma se puede ver en la siguiente imagen:



Figura 3. Contenedor de carga lateral metalo- plástico.

Fuente: <http://www.rosroca.com/es/>

### Características

- Son robustos, resistentes y de gran durabilidad.
- Se fabrican en dos capacidades de 2400 y 3200 l.
- Son totalmente estancos y de fácil limpieza.
- Mantenimiento simple y económico.

- Las tapas son intercambiables y disponen de un asa que facilita su apertura de forma manual.
- La apertura de la tapa se realiza mediante un pedal que cubre toda la anchura del contenedor.
- El pedal puede montarse a ambos lados del contenedor, en función de la situación del mismo en la calzada
- Tienen un dispositivo de bloqueo de apertura de tapas, que impiden su apertura por parte del usuario.

### 3. Contenedores convencionales

Estos contenedores de 4 ruedas tienen un diseño clásico y funcional, están especialmente diseñados para la recogida de residuos domésticos y el material de construcción es polietileno con algunos componentes metálicos. Existen diferentes tipos que se presentan a continuación:

1. MGB 1100 FD con tapa plana y curva



Figura 4. Contenedor MGB 110 FD con tapa plana y tapa curva respectivamente.

Fuente: <http://www.rosroca.com/es/>

2. Contenedores MGB 770 y MGB 660



Figura 5. Contenedores MGB 770 y MGB 660 respectivamente.

Fuente: <http://www.rosroca.com/es/>

Las características de estos cuatro depósitos son las mismas ya que principalmente solo cambia el tamaño y la forma de la tapa entre ellos.

### Características

- Son resistentes a la descomposición, escarcha, calor y múltiples elementos químicos.
- Compensación adecuada de los rayos ultravioletas que ofrece unas buenas condiciones de envejecimiento.
- Llevan aditivos libres de cadmio y ecológicos.
- Incluyen componentes metálicos resistentes a la corrosión.
- Tienen ruedas silenciosas de goma de varios tipos.
- Son compatibles con sistemas de identificación y pesaje.
- Disponen de asas de agarre en todos los lados de la cubeta.
- La elevación y el manejo es sencillo.
- La base de los paneles frontal y trasero están reforzados para ofrecer mayor estabilidad.
- Incluyen nervios especiales que evitan que los contenedores se queden atascados al ser apilados.
- Las asas son de fácil agarre en el frontal y en el lateral de la tapa para una facilitar la apertura.
- La tapa es estable y ligera con un perfil redondeado para una mejor evacuación del agua de lluvia y evitar la entrada de agua en el contenedor durante la apertura de la misma.
- Fácil de limpiar gracias a su superficie lisa y esquinas internas redondeadas.
- Certificado según las normativas EN 840 y RAL GZ 951/1. [11]

### 3.1.2 Thesal

#### *1. Contenedor iglú*

El contenedor de tipo iglú está diseñado para la recogida selectiva de residuos. Está fabricado por Gelcoats (recubrimiento exterior), poliéster (plástico termoestable) y fibra de vidrio (refuerzo natural) consiguiendo de esta forma las mejores resistencias al impacto y a los agentes externos de la naturaleza como son los cambios extremos de temperatura, rayos ultravioleta del sol, viento, agua y ambientes marinos.



Figura 6. Contenedor tipo iglú.

Fuente: <http://www.thesal.es/>

#### Características

- La capacidad del contenedor es de 3 m<sup>3</sup>.
- Estos contenedores están constituidos totalmente por un composite de poliéster reforzado con fibra de vidrio, con un espesor que va de 4 a 6 mm según la zona, lo cual garantiza la robustez necesaria para la recogida de residuos a los que se destina.
- La riqueza media de fibra de vidrio es de 1,5 Kg/m<sup>2</sup>.
- El perímetro exterior, está recubierto de gel coat que ayuda a identificar el tipo de residuo e impide que los agentes climáticos dañen el contenedor, ya que le proporciona una alta resistencia química y mecánica.
- El herraje está fabricado en acero galvanizado con posibilidad de inoxidable.

#### 2. Contenedor metálico

El contenedor está especialmente diseñado para la recogida selectiva de residuos y su diseño de base cuadrada se adapta al entorno y facilita su ubicación en cualquier zona maximizando el espacio de carga útil del mismo. Este recipiente dispone de dos bocas de llenado basculantes para la introducción del material y utiliza el sistema de doble gancho para su descarga.



Figura 7. Contenedor metálico.

Fuente: <http://www.thesal.es/>

### Características

- El contenedor está fabricado íntegramente en chapa de acero galvanizado o hierro galvanizado en caliente con un espesor de aproximado de 1,5 mm dependiendo de zonas, con refuerzo de un espesor superior.
- Los cordones de soldadura están galvanizados en frío y los colgaderos de sujeción van terminados en varilla de 16 mm.
- Dispone de dos bocas de llenado basculantes para la introducción del material.
- Tiene un sistema de doble gancho para la descarga.

### 3. Contenedor Compact 3000 y contenedor Dúo 3500

Estos contenedores están formados por dos piezas unidas por anclajes que garantizan una gran resistencia pero con la ventaja de poder optar a repuestos para el mismo y poder sustituir solo la parte necesaria. Dispone de un doble gancho en forma de percha que le permite una gran versatilidad al poder ser manejado por un solo operario.



Figura 8. Contenedor Compact 3000.

Fuente: <http://www.thesal.es/>



Figura 9. Contenedor Dúo 3500.

Fuente: <http://www.thesal.es/>



### Características

- La capacidad del contenedor es de 3 m<sup>3</sup>.
- Estos contenedores están constituidos totalmente por un composite de poliéster reforzado con fibra de vidrio, con un espesor que va de 4 a 6 mm según la zona, lo cual garantiza la robustez necesaria para la recogida de residuos a los que se destina.
- La riqueza media de fibra de vidrio es de 1,5 Kg/m<sup>2</sup>.
- El perímetro exterior, está recubierto de gel coat que ayuda a identificar el tipo de residuo e impide que los agentes climáticos dañen el contenedor, ya que le proporciona una alta resistencia química y mecánica.
- El herraje está fabricado en acero galvanizado con posibilidad de inoxidable.
- Las tapas inferiores, tienen las mismas características químicas y mecánicas, puesto que son del mismo material y su espesor es de 6-7mm.
- Está compuesto por dos piezas las cuales facilitan el transporte, montaje y mantenimiento del mismo asegurando una mayor vida útil de este contenedor.

#### 4. Contenedor textil

Este contenedor está diseñado para la recogida de material textil. Su diseño de base cuadrada se adapta al entorno y facilita su ubicación en cualquier zona maximizando el espacio de carga útil del mismo.

Dispone de una amplia apertura rectangular para la introducción del material. También se puede incorporar un molino rotativo que actúa como seguridad frente a hurtos impidiendo que una vez depositado el material pueda ser extraído.



Figura 10. Contenedor de ropa.

Fuente: <http://www.thesal.es/>

### Características

- La capacidad del contenedor es de 3 m<sup>3</sup>.

- El contenedor está fabricado íntegramente en chapa de acero galvanizado o hierro galvanizado en caliente con un espesor de aproximado de 1,5 mm y en alguna zona tiene un refuerzo de un espesor superior.
- Los cordones de soldadura están galvanizados en frío y los colgadores de sujeción van terminados en varilla de 16 mm.
- La compuerta de vaciado es frontal.

### 3.2 Contenedores con sistemas de protección

Además de los contenedores mencionados anteriormente existen también otros tipos de contenedores que poseen diferentes sistemas de protección.

El sistema de protección más común consiste en enterrar los depósitos de basura. Estos contenedores liberan espacio y eliminan el impacto visual de los contenedores de la superficie además de que no se producen tantos olores como en los tradicionales. Este sistema en sí mismo no dispone de un sistema de protección contra incendios pero igualmente por sus características es, indirectamente, un buen sistema para evitar actos vandálicos además de que el hecho de que los contenedores se encuentren depositados en espacios diferentes y separados incluso por hormigón hará que la propagación sea prácticamente imposible.

Las islas ecológicas permiten a los usuarios depositar sus basuras domésticas en contenedores estancos ubicados bajo tierra. Este sistema duplica la capacidad del contenedor ya que el propio peso de los residuos produce una compactación automática y reduce los gastos de recogida al disminuir la frecuencia de vaciado.

Como ya se ha mencionado anteriormente, también se generan menos actos vandálicos ya que el contenedor está oculto y no se tiene acceso al residuo generado. Este contenedor tiene una gran durabilidad garantizada efectuando unas sencillas tareas de mantenimiento además también es posible instalarles unos sistemas de aviso de alertas con software propio y vía 3G, con el cual se puede saber en todo momento el estado del contenedor y los niveles de llenado de los contenedores interiores.

Existen diferentes sistemas y configuraciones de contenedores soterrados:

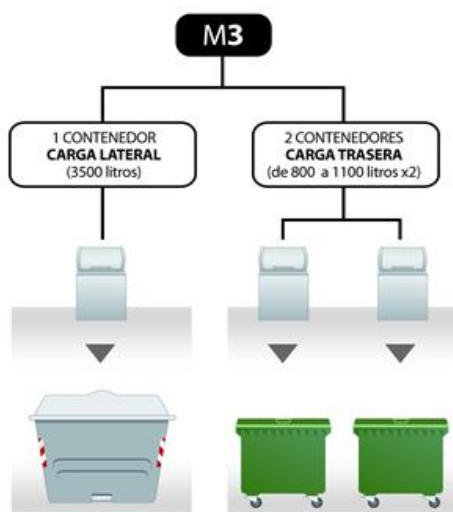


Figura 11. Sistema M3.

Fuente: <http://www.thesal.es/>

La combinación M3 permite disponer de un contenedor de carga lateral de 3500 L y dos de carga trasera de hasta 1100 L cada uno. (Capacidad máxima de 5700 L).

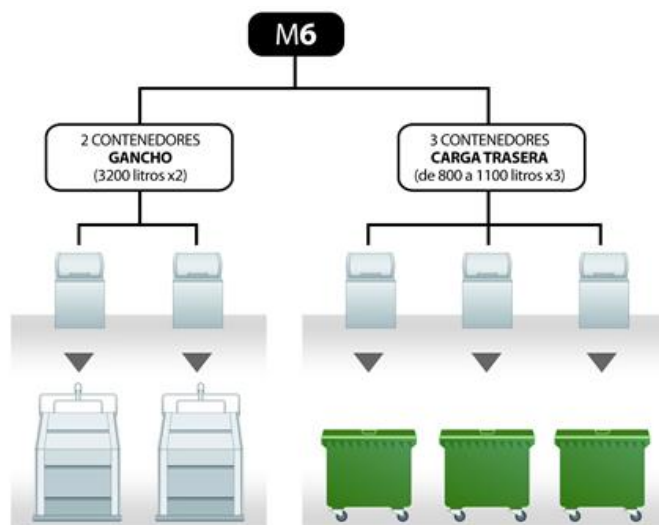


Figura 12. Sistema M6.

Fuente: <http://www.thesal.es/>

La combinación M6 permite dos contenedores de gancho de 3200 L cada uno y tres contenedores de carga trasera de hasta 1100 L cada uno. (Capacidad máxima de 9700 L).

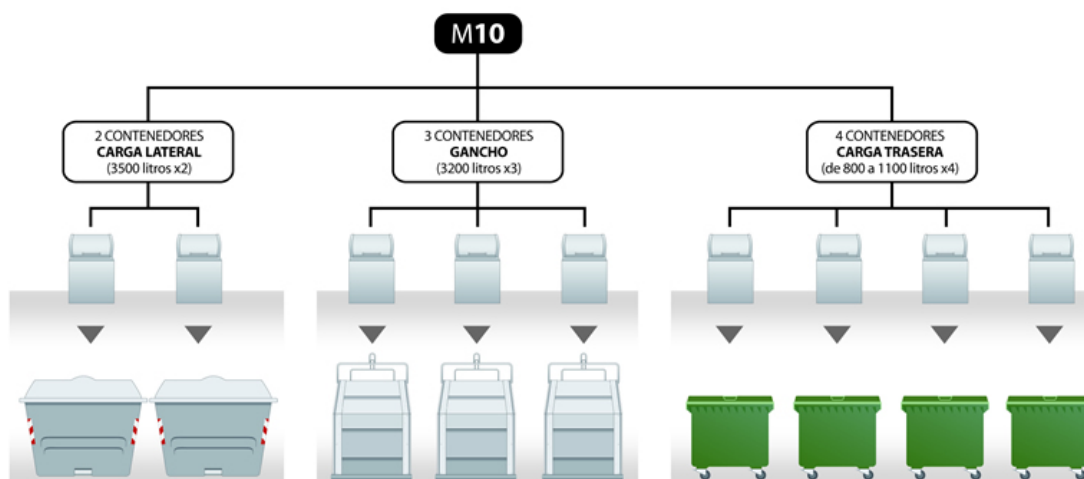


Figura 13. Sistema M10.

Fuente: <http://www.thesal.es/>

La combinación M10 dispone de dos contenedores de carga lateral de 3500 L cada uno, otros tres contenedores de gancho de 3200 L cada uno y cuatro contenedores de carga trasera de hasta 1100 L cada uno. (Capacidad máxima de 21000 L).

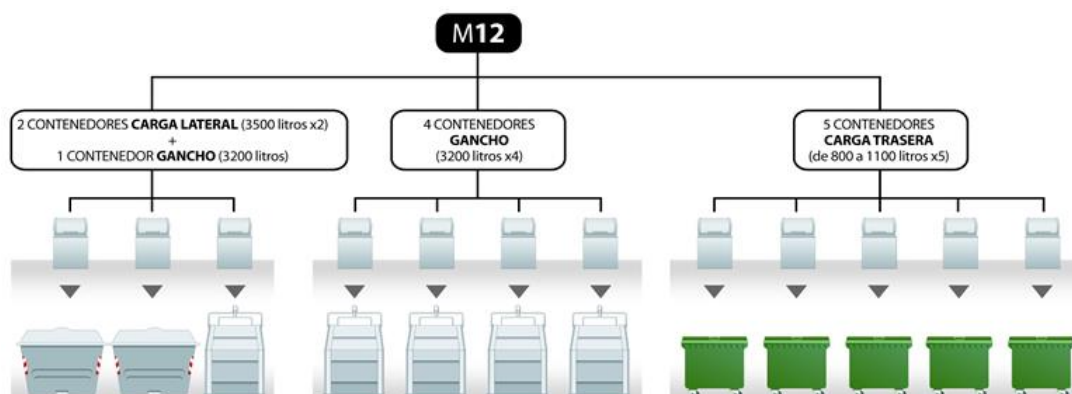


Figura 14. Sistema M12.

Fuente: <http://www.thesal.es/>

La combinación M12 permite instalar dos contenedores de carga lateral de 3500 L cada uno, cinco contenedores de gancho de 3200 L cada uno y otros cinco contenedores de carga trasera de hasta 1100 L cada uno. (Capacidad máxima de 28500 L).

Tal y como se acaba de comentar, las configuraciones que se pueden ver en las cuatro figuras anteriores solo se diferencian en la cantidad de depósitos que se pueden instalar bajo tierra. La parte del contenedor visible es el modelo Torki, que se puede ver en la imagen siguiente, y es posible utilizarlo en carga trasera, lateral y recogida con grúa doble gancho.



**Figura 15. Modelo Turki.**

Fuente: <http://www.thesal.es/>

Por otra parte, también existe otro modelo llamado Oslo, que se puede ver en la siguiente figura, y que consiste en un monobloque que integra buzón y contenedor en un solo cuerpo. Sus principales ventajas son que no posee sistema hidráulico y además se utiliza el mismo camión de la recogida de los contenedores tradicionales de superficie.



**Figura 16. Modelo Oslo.**

Fuente: <http://www.thesal.es/>

[12]

## 4. Composición de los residuos

---

La finalidad del presente capítulo es clasificar los distintos residuos que se pueden encontrar en los diferentes contenedores así como detallar sus características.

Se entiende por residuo cualquier producto en estado sólido, líquido o gaseoso procedente de un proceso de extracción, transformación o utilización, que carente de valor para su propietario, éste decide abandonar.

La Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados que sustituye a la Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos establece que “un residuo es cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar”

Los residuos pueden clasificarse de diversos modos.

Según su estado físico se dividen en:

- Sólidos.
- Líquidos.
- Gaseosos.

Según su procedencia se dividen en:

- Industriales.
- Agrícolas.
- Sanitarios.
- Residuos sólidos urbanos.

Por su peligrosidad se clasifican en:

- Residuos tóxicos y peligrosos.
- Radioactivos.
- Inertes.

Tal y como se especifica en la Ley comentada anteriormente “los residuos peligrosos son todos aquellos que contienen en su composición una o varias sustancias que les confieren características peligrosas, en cantidades o concentraciones tales, que representan un riesgo para la salud humana, los recursos naturales o el medio ambiente. También se consideran residuos peligrosos los recipientes y envases que hayan contenido dichas sustancias.”

Por otra parte, los residuos inertes son aquellos que no siendo peligrosos no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. No son solubles ni combustibles ni sufren reacciones químicas, físicas o de ningún otro tipo, ni son biodegradables, ni por tanto afectan negativamente a otras materias con las que puedan entrar en contacto.

Los residuos sólidos urbanos (RSU) se definen en la Ley de Residuos como los generados en los hogares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades. Tienen también la consideración de residuos urbanos según la citada ley, los siguientes:

- Residuos procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas.
- Animales domésticos muertos, así como muebles, enseres y vehículos abandonados.
- Residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria. [13] [14]

Los residuos sólidos urbanos están compuestos de los siguientes materiales:

- **Biorresiduos.** Son los restos de comida, de jardinería, etc. En peso son la fracción mayoritaria en el conjunto de los residuos urbanos.
- **Envases ligeros.** Envases plásticos, tetra- briks y envases metálicos
- **Papel y cartón.** Periódicos, revistas, envases de papel, cartón, etc.
- **Vidrio.** Son los envases de cristal, frascos, botellas, etc.
- **Textiles.** Ropas y vestidos y elementos decorativos del hogar.
- **Madera.** En forma de muebles mayoritariamente.
- **Escombros.** Procedentes de pequeñas obras o reparaciones domésticas [15]

En la siguiente figura se muestra un gráfico en el que se pueden identificar las fracciones de cada tipo de residuos:

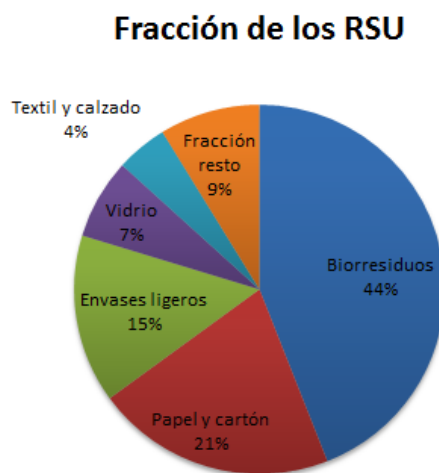


Figura 17. Fracción de los RSU.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de <http://www.mapama.gob.es>

Debido a que los fenómenos de combustión y las fases de la misma dependen de las propiedades físicas y químicas del material de que se trate resulta importante estudiar los distintos materiales y productos que se pueden encontrar en un contenedor.

#### 4.1 Biorresiduos

Los biorresiduos domésticos son los residuos orgánicos biodegradables de origen vegetal y/o animal, susceptibles de degradarse biológicamente generados en el ámbito domiciliario y comercial y son la fracción mayor de residuos producidos con un 44% del total de residuos. Según su naturaleza, se dividen en:

- Residuos orgánicos de origen alimentario y de cocina.
- Residuos vegetales o Fracción Vegetal (FV) procedentes de las zonas verdes y vegetación privadas y públicas.

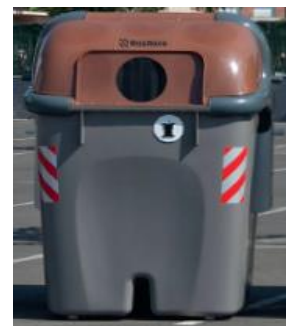


Figura 18. Contenedor de biorresiduos.

Fuente: <http://www.rosroca.com/es/>

La FO es una fracción con unas características muy singulares que condicionan en gran medida el diseño y desarrollo de su separación en origen, su recogida y su posterior tratamiento:

- No es una fracción uniforme, por su naturaleza y origen, ni en tipología ni en composición, y está sujeta a los hábitos alimentarios y a los cambios estacionales.
- Es el más inestable de los residuos de competencia municipal, debido a su elevado contenido en agua (alrededor del 80% en peso) y en materia orgánica (hidratos de



carbono, proteínas y grasas). Es fácilmente degradable por los microorganismos. Por todo ello, se generan lixiviados y malos olores durante su gestión.

- Su densidad y su grado de humedad pueden presentar variaciones vinculadas a los cambios producidos en la composición de los materiales que la forman.
  - Tiene una densidad bastante elevada y variable, entre 0,6-0,8 t/m<sup>3</sup> (si contiene restos vegetales la densidad desciende a 0,25-0,3 t/m<sup>3</sup>), lo cual hace que pese mucho y ocupe poco espacio, presentando en general una baja compactabilidad.
- [15]

## 4.2 Envases ligeros

Se considera envase o embalaje todo producto fabricado con materiales de cualquier naturaleza y que se utilice para contener, proteger, manipular, distribuir y presentar mercancías, desde materias primas, hasta artículos acabados, en cualquier fase de la cadena de fabricación, distribución y consumo.

[15]



Figura 19. Contenedor de envases ligeros.

Fuente:

<http://www.rosroca.com/es/>

En este grupo se encuentran diferentes tipos de envases dependiendo de su composición:

### 1. Plásticos

Los plásticos son compuestos orgánicos obtenidos mediante reacciones de polimerización, poliadición o policondensación. Pueden ser fabricados sintéticamente o mediante la modificación de materiales naturales y sus propiedades, estructuras y formas pueden ser muy variadas.

Las cadenas moleculares de los termoplásticos son lineales o ramificadas, los elastómeros presentan ligeros enlaces cruzados, mientras que los plásticos termoendurecidos presentan fuertes enlaces cruzados.

Por otra parte, el caucho natural se utiliza en la industria como materia prima, y se somete a un proceso de vulcanización y los cauchos artificiales, cuya estructura es similar a la del caucho natural, son polímeros y copolímeros del butadieno.

El uso de los productos plásticos y del caucho es cada vez más frecuente debido a la gran variedad y las excelentes propiedades técnicas de estos materiales y al igual que otros

materiales orgánicos tanto los plásticos como el caucho se consideran materiales combustibles.

Teniendo en cuenta diferentes parámetros como la combustibilidad, capacidad de ignición, capacidad de producción de humos, propensión a la producción de gases tóxicos y al goteo en la combustión, se definen sus ámbitos de aplicación y se establecen las condiciones de seguridad necesarias frente a incendios.

Los incendios de materiales plásticos suelen ir acompañados de un desagradable fenómeno de liberación de grandes cantidades de un humo muy denso que puede limitar fuertemente la visibilidad y dar lugar a gases tóxicos. Los materiales termoplásticos se funden durante la combustión, después se fluidifican y, según su ubicación, producen goteo en la zona de combustión y pueden provocar la ignición de los materiales combustibles que se encuentran debajo de ellos.

Los agentes ignífugos inhiben la combustibilidad, la ignición es más lenta, la velocidad de combustión disminuye y la propagación de la llama se hace más lenta pero, por otro lado, aumentan la cantidad y densidad del humo y la mezcla de gas producida es más tóxica.[16]

Existen tres grandes familias de polímeros:

- **Termoplásticos.**

La principal característica de los polímeros termoplásticos es que se ablandan por acción del calor, llegando a fluir, y cuando baja la temperatura vuelven a ser sólidos y rígidos por lo que son fácilmente reciclables y los más usados en la industria del envase y el embalaje.

Entre los polímeros termoplásticos se encuentran:

- Poliolefinas. Divididas a su vez en:
  1. PEBD (polietileno de baja densidad).
  2. PEAD (polietileno de alta densidad).
  3. PP (polipropileno).
    - PVC (policloruro de vinilo).
    - PS (poliestireno).
    - PET (politereftalato de etileno)

- **Termoestables.**

Estos polímeros no reblandecen ni fluyen por acción del calor y se descomponen si la temperatura aumenta demasiado por lo que no se pueden moldear repetidas veces.

Entre los polímeros termofijos se encuentran:

1. Resinas fenólicas.
2. Amino-resinas.
3. Resinas de poliéster.
4. Resinas epoxi.
5. Poliuretanos.

○ **Elastómeros.**

Los polímeros elastómeros poseen una estructura les permite deformarse por acción de una fuerza externa y recuperar inmediatamente el tamaño original cuando la fuerza cesa.

Entre los polímeros elastómeros se encuentran:

1. NR (caucho natural).
2. SBR (caucho sintético de butadieno-estireno).
3. EPM-EPDM (cauchos saturados de estireno-propileno).
4. CR (cauchos de cloropreno). [15]

## 2. Tetra-brik

Los tetra bricks son envases multimateriales formados por una lámina de cartón, otra de aluminio y otra de plástico que comenzaron a ser usados en los años 60. Se fabrican a partir del papel-cartón que se lamina con papel de aluminio y por último film de polietileno y permiten una perfecta conservación de los alimentos. [15]

## 3. Metales

Los principales metales que se pueden encontrar entre los residuos domésticos son el acero y el aluminio.

- **Acero**

La hojalata es acero batido estañado por inmersión y se utiliza desde principios del XIX para fabricar envases debido a las características que ofrece:

- ✓ Fácil conformación.

- ✓ Ligereza.
- ✓ Condición magnética.
- ✓ Facilidad de reciclado.

En la actualidad, prácticamente la totalidad de la hojalata fabricada se emplea en la fabricación de envases para el sector alimentario como latas de conservas y para el sector industrial como envases para aceites o pintura. [15]

- **Aluminio**

El aluminio se obtiene por un proceso electrolítico de la alúmina, previamente obtenida de la bauxita. Este material tiene múltiples aplicaciones y formas debido a sus propiedades:

- ✓ Ligereza.
- ✓ Alta conductividad.
- ✓ Gran deformabilidad.
- ✓ Resistencia a la corrosión.

Todo esto permite utilizarlo de múltiples formas en la industria del envase y del embalaje. [15]

Prácticamente todos los metales pueden entrar en combustión aunque el acero y el aluminio se consideran metales no combustibles, sin embargo el polvo de aluminio y de hierro, los metales alcalinos y los alcalinotérreos entran en ignición muy fácilmente cuando están en forma de polvo, limaduras o tiras finas. Por otra parte, otros metales tienen tal capacidad de reacción que deben almacenarse fuera del contacto con el aire o en una atmósfera de gas inerte. [19]

### 4.3 Papel y cartón

El papel y el cartón están fabricados principalmente a partir de fibra de celulosa virgen obtenida de especies vegetales o recuperada a partir de papel y cartón usados y estos residuos corresponden a un 21 % del total de residuos generados.

La recogida selectiva de papel y cartón tiene como objetivo posibilitar el reciclaje de estos materiales, lo que supone un ahorro de energía y materias primas.



Figura 20. Contenedor de papel y cartón.

Fuente:  
<http://www.rosroca.com/es/>

El papel y sobre todo el cartón son residuos con un volumen considerable de densidades variables:

- Papel: entre 40 y 130 kg/m<sup>3</sup> y un valor medio de 90 kg/m<sup>3</sup>.
- Cartón: entre 40 y 80 kg/m<sup>3</sup> y un valor medio de 50 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.4 Vidrio

El vidrio es un material inorgánico duro, frágil, transparente y amorfo que se usa para hacer ventanas, lunas, lentes, botellas y envases y una gran variedad de productos. Los vidrios de silicatos contienen una elevada proporción de sílice (SiO<sub>2</sub>) y normalmente se forman en condiciones de enfriamiento a partir del estado fundido.

Existen tres grupos de productos de vidrio en cuanto a sus circuitos de recogida:

- Vidrio envase no reutilizable (botellas, botes y frascos).
- Vidrio envase reutilizable (botellas de bebidas diferentes bebidas)
- Vidrio no envase

El vidrio envase fue el primer material recogido separadamente y supone aproximadamente un 7% del total de residuos generados. Este residuo no compactable tiene una densidad de entre 180-480 kg/m<sup>3</sup> una vez recogido. [17]

Mediante el reciclaje de vidrio se pueden convertir desechos de vidrio en algunos productos que se pueden volver a usar.

En primer lugar, se puede lavar el desecho y reusarlo directamente o es posible fundirlo para hacer otros productos pero, para ello, es necesario realizar una separación de los distintos tipos de desechos de vidrio atendiendo a su composición química y color. [18]



Figura 21. Contenedor de vidrio.

Fuente:  
<http://www.rosroca.com/es/>

## 4.5 Fibras y textiles

La ropa de vestir, el calzado y el textil del hogar y otros productos textiles, una vez usados durante un periodo de tiempo determinado se convierten en residuos los cuales corresponden alrededor de un 4%-4,5% del total de los residuos generados. La gran mayoría de los textiles están fabricados a base de fibras que son combustibles.



Figura 22. Contenedor de textil.

Fuente: <http://www.thesal.es/>

Las materias primas de los textiles pueden ser naturales o artificiales. Por su parte, las fibras naturales de origen vegetal por lo que están formadas por celulosa, que es combustible, y presentan una temperatura de ignición relativamente alta, sobre los 400 °C.

Por otra parte, las fibras basadas en proteínas de origen animal presentan una temperatura de ignición de 500-600 °C y en las mismas condiciones que las de origen vegetal su combustión es menos intensa.

Otro tipo de fibras son las sintéticas acrílicas, de poliéster y termoplásticas. Estas fibras tienen una temperatura de ignición de unos 400-600 °C pero se funden cuando se exponen al calor, entran fácilmente en ignición, arden con intensidad, se funden durante la combustión y liberan una cantidad considerable de humo y gases tóxicos. Estas propiedades pueden mejorarse si se mezclan con fibras naturales o si se tratan con agentes ignífugos. [19]

## 4.6 Productos de madera y derivados

La madera y sus derivados son fácilmente combustibles y, cuando entran en contacto con superficies a alta temperatura o son sometidos a radiaciones de calor u otra fuente de ignición se producen procesos de combustión. La temperatura de ignición de la madera depende de la densidad, humedad, tamaño, forma de la muestra de madera, de la fuente de ignición, tiempo e intensidad de exposición entre otras.

Los productos limpios y secos presentan una facilidad de ignición muy baja, mientras que la madera polvorienta, impregnada de aceite o almacenada en recintos con una ventilación insuficiente la facilidad de ignición aumenta considerablemente.

Finalmente, es importante mencionar que debido a sus grandes propiedades como combustible es necesario mejorar sus propiedades anticombustión por lo que se suelen tratar con agentes ignífugos. [19]

#### 4.7 Otros residuos

Este grupo posee una composición heterogénea y algunos de estos residuos pueden ser peligrosos para el medio como las pilas, el aceite usado, los medicamentos o restos de electrodomésticos.

La mayoría de estos residuos se deben reciclar de una manera concreta y no es correcto el depositarlos sin más en un contenedor de basura, ya que contienen muchos componentes químicos peligrosos para el medio ambiente, pero todavía se siguen encontrando en los diferentes contenedores de basura. [15]



Figura 23. Contenedor de la fracción resto.

Fuente:  
<http://www.rosroca.com/es/>

## 5. Tipos de combustibles

---

En capítulos anteriores se ha hablado de las características de diferentes contenedores de basura además de los diferentes materiales que se pueden encontrar en caso de que surja un incendio en estos recipientes. Aunque existen múltiples clasificaciones de los combustibles, en el presente capítulo se detallarán los diferentes combustibles que contribuirían al incendio de un contenedor clasificándolos según su estado físico a temperatura ambiente.

Anteriormente ya se ha definido un combustible como toda sustancia que emite o desprende energía por combustión controlada o cualquier sustancia capaz de arder en determinadas condiciones necesitando un comburente y una energía de activación.

### 5.1 Clasificación

La norma UNE 23-010-76 establece las cuatro clases de fuego normalizadas según el material de combustión que intervenga en ellos:

- **Fuego de Clase A:** Son fuegos de materiales sólidos, y generalmente de naturaleza orgánica donde la combustión se realiza normalmente con formación de brasas
- **Fuego de Clase B:** Son fuegos de líquidos o sólidos licuables.
- **Fuego de Clase C:** Son fuegos de gases.
- **Fuego de Clase D:** Son fuegos de metales.
- **Fuego de Clase F:** Son fuegos de aceites y grasas.

Fuera de la norma se encuentran los fuegos eléctricos:







- **Fuego de Clase E:** Son fuegos en presencia de tensión eléctrica. No se trata de una clase de fuego en sí ya que eso dependerá de la naturaleza del combustible que arde.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las diferentes clases incluyendo el símbolo que las identifica y los agentes extintores que se deben utilizar en cada una de ellas:



Tabla 2. Tabla resumen de las diferentes clases de fuego que existen

Fuente: Elaboración propia a partir de [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp\\_099.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp_099.pdf)

Símbolo	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D	Clase E	Clase F
						
<b>Combustibles</b>	Madera Papel Tejidos Goma Plásticos	Gasolina Petróleo Alcohol Disolventes Plásticos	Propano Butano Acetileno Gas natural Gas ciudad	Virutas de hierro, fósforo Polvos de aluminio, magnesio, sodio, titanio	Los mismos que las clases A y B pero en presencia de tensión eléctrica	Aceites y grasas
<b>Agente extintor</b>	Agua polvorizada sola Agua polvorizada con algún aditivo Gas inerte	Dióxido de carbono Agua polvorizada con algún aditivo Polvos BC Gas inerte	Polvos BC	Extinción reservada a especialistas con polvos D (el agua está prohibida por riesgo de explosión)	Dióxido de carbono Polvos	Polvos BC Agentes de clase F

Finalmente, es importante mencionar el hecho de que el incendio de un contenedor de basura nunca será de un tipo concreto ya que hay muchos combustibles y con características muy diversas.

### 5.1.1 Combustibles sólidos

Este tipo de combustibles queman produciendo cenizas y la combustión puede ser con llama o incandescente. Su combustibilidad depende de varios factores como el porcentaje de agua del sólido, el poder calorífico, la temperatura de ignición o la velocidad de propagación entre otros.

#### *Materias celulósicas*

La celulosa es un hidrato de carbono CHO. Se presenta en forma alfa, beta o gamma según su grado de polimerización. Es el combustible históricamente más conocido. Es el principal componente de la madera, papel e infinidad de tejidos. Su punto de ignición es 230 °C.

Las temperaturas de ignición de la madera y derivados dependen, entre otras, de su densidad, humedad, naturaleza del foco de calor, suministro y velocidad del aire.

#### *Plásticos*

Como ya se ha mencionado anteriormente, estos materiales están formados por polímeros y son poco resistentes al calor y frente a él primeramente se reblandecen, seguidamente se

deforman y finalmente se descomponen con o sin combustión. El grado de combustibilidad depende de la estructura C-H o C-H-O y de sus aditivos.

Durante su combustión se generan gases tóxicos como CO, Fenol, compuestos nitrogenados, ácido cianhídrico, ácido fórmico, NH<sub>3</sub> además de un gran volumen de humos densos. Los plásticos no suelen resistir más de 100 ° C.

### **Metales**

Todos los metales son combustibles en determinadas condiciones, algunos incluso no necesitan la presencia de aire u oxígeno y pueden arder en atmósferas de N, CO<sub>2</sub>, o vapor de agua. Los metales tienen una gran conductibilidad térmica y eléctrica, suelen ser sólidos, son dúctiles y maleables, admiten aleaciones y tienen una temperatura de fusión específica.

Las características de los fuegos de metales son muy variadas en función de los humos, calores de ignición y combustión, condiciones propicias, etc. El gran problema de los fuegos de metales es que generalmente no admiten los medios de extinción básicos, teniendo que recurrir a medios específicos.

### **Polvos**

Dada su gran superficie de reacción su velocidad de combustión suele ser elevada. Los factores que influyen sobre la explosión de polvos son la inflamabilidad del material. Las dimensiones de sus partículas, la concentración a la que se encuentren y las impurezas que contengan y la cantidad de oxígeno disponible.

## **5.1.2 Combustibles Líquidos**

Se consideran líquidos peligrosos aquellos cuyo punto de inflamación roza los 21°C. La velocidad de combustión y propagación de un incendio de gases varía en función de la presión de vapor, el punto de inflamación y ebullición, el índice de evaporación y otros factores ambientales como la velocidad del viento o la temperatura y presión atmosférica.

## **5.1.3 Gases Combustibles**

Los gases son los combustibles más empleados. Según sus propiedades físicas se podrían clasificar en comprimidos, licuados y criogénicos. Los gases más específicos son el acetileno, amoniaco e hidrogeno aunque no se detallarán más en profundidad debido a que no forman parte de los combustibles más comunes en los contenedores de basura.

[19]

## 6. Incendio de contenedores

---

En el presente capítulo se definirán tanto los incendios de contenedores de basura teóricos como los experimentales.

### 6.1 Incendio experimental

El 14/02/2017 se llevaron a cabo dos pruebas diferentes: en una se quemó un contenedor amarillo repleto de papel y cartón pero que se encontraba aislado, es decir, no estaba rodeado por nada y en la segunda prueba se quemó otro contenedor amarillo, lleno también de papel y cartón, pero en que en este caso lo rodeaban otros tres depósitos. Con estas dos pruebas se pretendía representar y evidenciar el factor de propagación que ocurrirá al quemar contenedores que se encuentran juntos. A continuación se muestran dos imágenes de las pruebas realizadas:



**Figura 24. Prueba uno: contenedor aislado**



**Figura 25. Prueba dos: contenedor rodeado de otros contenedores**

### 6.1.1 Experimento con un solo contenedor

Pasado un minuto tras el inicio del incendio (Figura 26), el techo del contenedor ya empieza a derretirse, se ve salir humo del interior pero aún no se ven llamas.



**Figura 26. Un minuto tras el inicio del fuego**

A los dos minutos (Figura 27), la tapa ya colapsó totalmente por lo que ya se pueden ver las primeras llamas que salen por encima del contenedor.



**Figura 27. Dos minutos tras el inicio del fuego**

A los tres minutos (Figura 28) el contenido del contenedor ya está completamente en llamas, estas cubren absolutamente todo el interior y alcanzan una altura de unos dos metros por encima del depósito además de que el humo es de un color negro intenso, característico de los incendios de materiales plásticos.



Figura 28. Tres minutos tras el inicio del fuego

Tras cuatro minutos (Figura 29), las paredes del depósito empiezan a ceder y se puede ver como se derriten. Seguramente el papel y cartón ya estén completamente consumidos por lo que el combustible que hace que esas llamas sean tan oscuras será el PP y PE que forman el contenedor. Además también se puede ver como las llamas están desplazadas unos dos metros debido a la acción del viento.

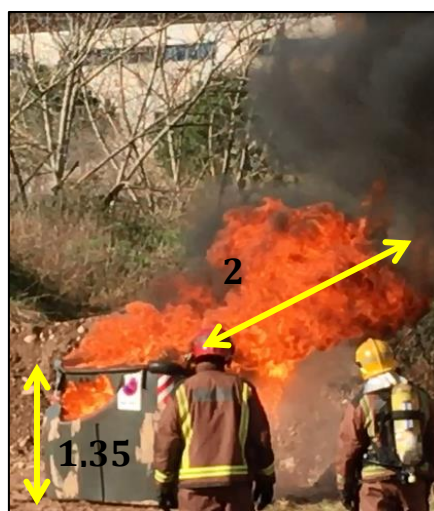


Figura 29. Cuatro minutos tras el inicio del fuego

Cinco minutos después del inicio del fuego (Figura 30), el depósito ya está prácticamente derretido en su totalidad además de que se puede apreciar un pequeño charco alrededor del mismo que procede del polímero que se ha quemado. Las llamas han remitido considerablemente y el humo es mucho menos denso que antes ya que la cantidad de combustible ha disminuido considerablemente.



**Figura 30. Cinco minutos tras el inicio del fuego**

Finalmente, a los seis minutos (Figura 31) el fuego ya consumido prácticamente la totalidad del depósito y el humo es muy poco denso aunque bastante negro. Las llamas tienen una altura total aproximada de 1 m y están remitiendo.



**Figura 31. Seis minutos tras el inicio del fuego**

A continuación se muestra una tabla resumen con todos los resultados obtenidos:

Tabla 3. Tabla resumen del incendio con un solo contenedor

Tiempo transcurrido	Estado del contenedor	Humo	Llama
1 min	Tapa ligeramente derretida	Poco y claro	No se ve
2 min	Tapa colapsada	Poco y claro	Se ve dentro del contenedor
3 min	Paredes en buen estado	Más oscuro que antes	Sobresale dos metros por encima del depósito
4 min	Las paredes empiezan a derretirse	Muy oscuro y denso	Densa y desplazada dos metros debido al viento
5 min	Depósito colapsado	Poco y ligeramente oscuro	Un metro de altura total
6 min	Depósito prácticamente inexistente	Poco y ligeramente oscuro	Un metro de altura y remitiendo

### 6.1.2 Experimento con un grupo de contenedores

Se inicia el experimento provocando un incendio dentro del contenedor amarillo. Todos los contenedores están llenos de papel y cartón. El contenedor que tiene la tapa gris está rodeado de una manta ignífuga con la cual se pretende simular un recubrimiento lateral del contenedor para poder ver así como afectaría un posible aislante a la propagación del incendio.

Un minuto después del inicio del incendio (Figura 32), ya se empiezan a ver las primeras llamas sobresalir por encima del depósito además de que la tapa ya empieza a derretirse.



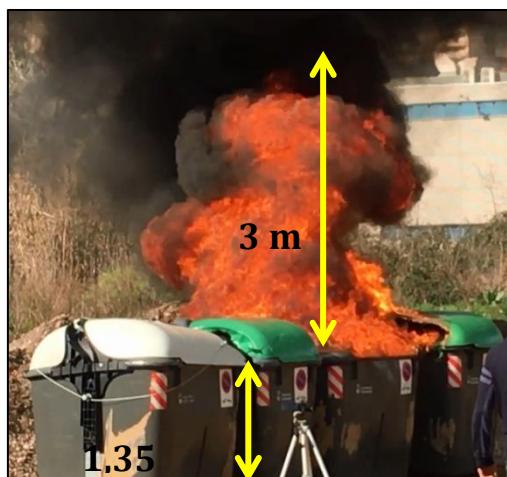
Figura 32. Un minuto tras el inicio del fuego

A los dos minutos (Figura 33), la tapa del depósito en cuestión ya colapsó y la del depósito de al lado ya se ve ligeramente afectada debido a la radiación que emite la llama. La llama tiene aproximadamente, un metro de altura por encima del depósito y el humo aun no es muy oscuro ni muy denso.



**Figura 33. Dos minutos tras el inicio del fuego**

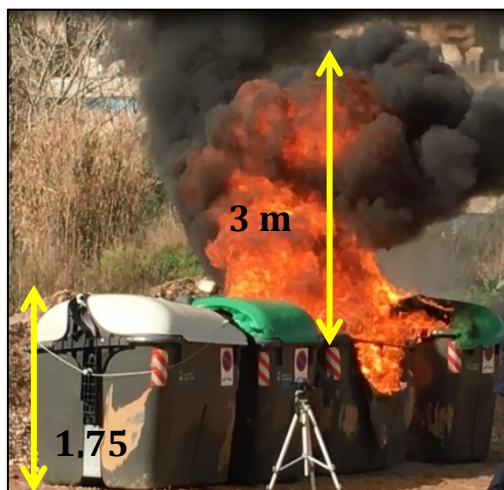
Pasados los tres primeros minutos (Figura 34), el contenido del contenedor ya arde por completo. Las llamas ocupan todo el volumen del depósito y tienen una altura de unos tres metros de altura. También se aprecia una gran columna de humo denso y muy negro.



**Figura 34. Tres minutos tras el inicio del fuego**

A los cuatro minutos (Figura 35), el fuego ya ha empezado a afectar a las paredes del depósito y éstas comienzan a derretirse. La propagación del fuego hacia el depósito de la derecha ya empieza a ser evidente además de que se pueden ver tanto las llamas como el humo desplazados en esa dirección debido a la acción del viento. Las llamas siguen siendo muy altas y el humo continúa denso y muy negro debido a la quema del PP y PE del contenedor.





**Figura 35. Cuatro minutos tras el inicio del fuego**

Cinco minutos después de que se iniciara el incendio en el contenedor amarillo (Figura 36), este ya se encuentra totalmente derretido y tanto las llamas como el humo considerablemente más leves que en el minuto anterior ya que el combustible que alimentaba las llamas, es decir el propio depósito, ya es prácticamente inexistente. Las llamas ya han colapsado la tapa del contenedor de la derecha y sus paredes empiezan a ceder.



**Figura 36. Cinco minutos tras el inicio del fuego**

Pasados seis minutos (Figura 37), el contenedor de la derecha ya se encuentra completamente en llamas, y estas han vuelto a revivir ya que ya han alcanzado el contenido de papel y cartón que se encontraba dentro dicho contenedor y ya ocupan unos tres metros de largo y sobre dos de alto. La columna de humo también se ha vuelto mucho más negra y densa que el minuto anterior.



**Figura 37. Seis minutos tras el inicio del fuego**

A los siete minutos (Figura 38), el segundo contenedor ya colapsó debido a la acción de las llamas. El humo ha vuelto a remitir ya que por segunda vez el combustible disponible ha disminuido. El depósito de la izquierda parece que todavía está intacto ya que el viento sopla en la otra dirección y por lo tanto a las llamas les costaba más alcanzarlo.



**Figura 38. Siete minutos tras el inicio del fuego**

Pasados ocho minutos (Figura 39), las llamas han vuelto a revivir ya que estas ya han alcanzado al contenedor de la izquierda y lo cubren por completo. El humo y las llamas se vuelven muy fuertes y muy densos.



**Figura 39. Ocho minutos tras el inicio del fuego**

Pasados nueve minutos (Figura 40) el fuego ya consumió por completo al tercer contenedor y en la imagen se puede ver como en el lugar donde se encontraban dichos contenedores se ha formado una balsa de plástico licuado donde el fuego sigue ardiendo.



**Figura 40. Nueve minutos tras el inicio del fuego**

Otro detalle importante a comentar es que el contenedor que sigue en pie se encuentra protegido, en el lateral por donde están las llamas por una manta térmica (Figura 41) que simula un recubrimiento externo de un aislante térmico.



**Figura 41. Características de la manta térmica usada**

De esta manera se pretende probar la eficacia de este tipo de recubrimientos en caso de no sea el propio contenedor el que empieza arder sino que simplemente se encuentra cerca.

Tras diez minutos de incendio (Figura 42) las llamas aún no han llegado al depósito gris debido a que la manta forma una barrera que dificulta un poco el paso de estas. Tanto las llamas como el humo son poco densos y ligeros y se encuentran sobre la balsa de plástico derretido.



Figura 42. Diez minutos tras el inicio del fuego

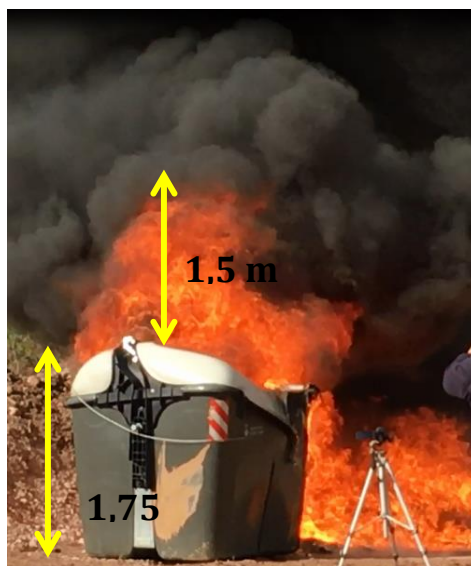
A los once minutos (Figura 43), la manta que hacía de aislante y la cual se suponía totalmente resistente al fuego ya ha sucumbido a las llamas por lo que el depósito ya se ha quedado sin protección y las llamas empiezan a afectar a la tapa de mismo.



Figura 43. Once minutos tras el inicio del fuego

Doce minutos tras el inicio del incendio (Figura 44), las llamas han vuelto a revivir ya que han alcanzado por completo el contenido del contenedor gris, que también era papel y cartón. Las llamas no solo cubren completamente el interior del contenedor sino que también continúan ardiendo sobre el plástico derretido del suelo.

El humo se ha vuelto mucho más denso que antes y las llamas alcanzan sobre metro y medio por encima del contenedor.



**Figura 44. Doce minutos tras el inicio del fuego**

Finalmente, pasados trece minutos (Figura 45), el incendio ya casi llegó a su fin ya que las llamas han consumido prácticamente todo lo que han alcanzado. Tan solo queda en pie la estructura del último contenedor. El humo ya es mucho menos denso y las llamas ya están remitiendo.



**Figura 45. Trece minutos tras el inicio del fuego**

A continuación se muestra una tabla resumen con todos los resultados obtenidos:

Tabla 4. Tabla resumen del incendio con propagación de la llama

Tiempo transcurrido	Contenedor 1	Contenedor 2	Contenedor 3	Contenedor 4	Humo	Llama
1 min	Tapa ligeramente derretida	Intacto	Intacto	Intacto	Muy poco	Pequeña
2 min	Tapa colapsada	Tapa ligeramente derretida	Intacto	Intacto	Poco	Alta
3 min	Cubierto en llamas	Tapa ligeramente derretida	Intacto	Intacto	Muy oscuro y denso	Muy alta
4 min	Paredes un poco derretidas	Tapa ligeramente derretida	Intacto	Intacto	Muy oscuro y denso	Muy alta
5 min	Colapsado completamente	Tapa colapsada	Intacto	Intacto	Poco y claro	Pequeña
6 min	-	Cubierto en llamas	Tapa ligeramente derretida	Intacto	Muy oscuro y denso	Muy alta
7 min	-	Colapsado completamente	Tapa ligeramente derretida	Intacto	Poco y claro	Pequeña
8 min	-	-	Cubierto en llamas	Intacto	Muy oscuro y denso	Muy alta
9 min	-	-	Colapsado totalmente	Intacto	Oscuro	Pequeña
10 min	-	-	-	Intacto	Poco y claro	Pequeña
11 min	-	-	-	Intacto	Poco y claro	Pequeña
12 min	-	-	-	Tapa ligeramente derretida	Muy oscuro y denso	Muy alta
13 min	-	-	-	Tapa colapsada	Poco y claro	Alta

### 6.1.3 Análisis de los resultados obtenidos.

De las dos experimentaciones anteriores se puede extraer cierta información relevante sobre la cual se basarán los cálculos teóricos:

- Las llamas cubren totalmente el interior del contenedor por lo que se considerará un incendio con forma de paralelepípedo en lugar forma cilíndrica.
- Las llamas alcanzan su longitud más elevada cuando el contenedor se encuentra un poco derretido y las llamas arden con fuerza desde el interior.
- Al quemarse totalmente el contenedor se forma una balsa de plástico derretido en el suelo que sigue ardiendo, aunque de forma mucho menos agresiva que antes, durante prácticamente todo el tiempo.

## 6.2 Incendio teórico

En este apartado se pretende caracterizar un incendio de manera teórica por lo que se propondrán diferentes ecuaciones para la obtención de diferentes parámetros.

### 1. Dimensiones

El incendio que se estudia en este trabajo corresponde a un contenedor de basura por lo que en un principio, y mientras este no se propague a otros elementos que lo rodean, las dimensiones del mismo serán las del tamaño del contenedor.

### 2. Altura de la llama

La altura de la llama se puede obtener mediante la ecuación Thomas (1963):

$$H = 84 \cdot b \cdot \left( \frac{m''}{\rho_{\infty} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot b}} \right)^{0,61} \quad (6)$$

Dónde:

- $b$  es el radio del incendio que se considerará como la longitud hasta la mitad del depósito en m ya que este tiene forma de cubo no de cilindro.
- $m''$  es la velocidad de combustión en  $\text{kg}/\text{sm}^2$ .
- $\rho_{\infty}$  es la densidad del aire a temperatura ambiente ( $1,199 \text{ kg}/\text{m}^3$ ).
- $g$  es la constante de gravedad ( $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$ ).

### 3. Intensidad de la radiación en $\text{kW}/\text{m}^2$

$$I = \tau \cdot F \cdot E \quad (7)$$

Dónde:

- $\tau$  es el coeficiente de transmisión atmosférica.
- $F$  es el factor de vista.
- $E$  es la potencia emisiva media de la llama.

El valor de la transmisividad atmosférica es necesario cuando se quiere determinar la cantidad de calor que recibe un objeto a una determinada distancia de la llama. Es posible calcularlo mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 2.02 \cdot (P_w \cdot x)^{-0.09} \quad (8)$$

Dónde:

- $P_w$  es la presión parcial del vapor de agua (Pa).
- $x$  es la distancia hasta la zona que afecta en m.

Para pequeñas la ecuación anterior (8) no es aplicable. Cuando la parte de dentro de los paréntesis es menor de  $10^4$ , entonces la ecuación a aplicar es:

$$\tau = 1,53 \cdot (P_w \cdot x)^{-0.06} \tag{9}$$

La presión parcial del vapor se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$P_w = \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \tag{10}$$

Dónde:

- $H_R$  es la humedad relativa (50%).
- $P_{sat}$  es la presión de saturación del vapor de agua es de 2500 Pa.

El factor de vista puede definirse como la fracción de la energía total radiante, emitida por la superficie de la llama, que alcanza directamente a un infinitésimo de la superficie de un objeto cercano a la llama. En general, el factor de vista máximo entre un incendio y un objeto situado a una determinada distancia,  $x$ , se calcula mediante la expresión:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} \tag{11}$$

Donde  $F_v$  y  $F_h$  son el factor de vista del incendio sobre una superficie vertical y sobre una superficie horizontal respectivamente y, se obtienen, a partir de las siguientes tablas para un incendio con forma rectangular:

**Tabla 5. Factor de vista vertical de un paralelepípedo**

**Fuente: J. Casal, H. Montiel, E. Planas, J. A. Vílchez. Análisis del riesgo en instalaciones industriales. Edición UPC, 1999. Capítulo 4.**

$b = x/R$	$a = L/R$									
	10	5	3	2	1	0,75	0,5	0,25	0,2	0,1
10	0,2480	0,2447	0,2369	0,2234	0,1767	0,1499	0,1118	0,0606	0,0490	0,0249
5	0,2447	0,2421	0,2350	0,2221	0,1750	0,1491	0,1114	0,0604	0,0489	0,0248
3	0,2369	0,2350	0,2292	0,2176	0,1734	0,1478	0,1101	0,0598	0,0483	0,0245
2	0,2234	0,2221	0,2176	0,2078	0,1674	0,1427	0,1068	0,0581	0,0470	0,0239
1	0,1767	0,1760	0,1734	0,1674	0,1385	0,1193	0,0902	0,0494	0,0400	0,0203
0,75	0,1499	0,1494	0,1475	0,1427	0,1193	0,1032	0,0784	0,0431	0,0349	0,0178
0,50	0,1118	0,1114	0,1101	0,1068	0,0902	0,0784	0,0599	0,0331	0,0268	0,0137
0,25	0,0606	0,0604	0,0598	0,0581	0,0494	0,0431	0,0331	0,0184	0,0149	0,0076
0,20	0,0490	0,0489	0,0483	0,0470	0,0400	0,0349	0,0268	0,0149	0,0121	0,0062
0,10	0,0249	0,0248	0,0245	0,0239	0,0203	0,0178	0,0137	0,0076	0,0062	0,0031
0,05	0,0123	0,0124	0,0123	0,0120	0,0102	0,0089	0,0069	0,0038	0,0031	0,0016
0,02	0,0050	0,0050	0,0049	0,0048	0,0041	0,0036	0,0027	0,0015	0,0012	0,0006



**Tabla 6. Factor de vista horizontal de un paralelepípedo**

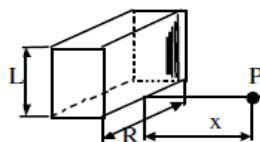
Fuente: J. Casal, H. Montiel, E. Planas, J. A. Vilchez. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales.* Edición UPC, 1999. Capítulo 4.

$b = x/R$	$a = L/R$							
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0
0,1	0,0732	0,1380	0,1705	0,1998	0,2126	0,2217	0,2279	0,2305
0,2	0,0263	0,0728	0,1105	0,1549	0,1774	0,1944	0,2063	0,2113
0,3	0,0127	0,0414	0,0720	0,1182	0,1459	0,1687	0,1855	0,1928
0,4	0,0073	0,0257	0,0485	0,0899	0,1190	0,1452	0,1660	0,1752
0,5	0,0047	0,0171	0,0339	0,0687	0,0966	0,1243	0,1478	0,1588
0,6	0,0032	0,0120	0,0245	0,0530	0,0784	0,1059	0,1312	0,1436
0,7	0,0023	0,0087	0,0182	0,0414	0,0638	0,0903	0,1162	0,1296
0,8	0,0017	0,0065	0,0139	0,0327	0,0522	0,0767	0,1028	0,1169
0,9	0,0013	0,0050	0,0108	0,0261	0,0429	0,0653	0,0908	0,1054
1,0	0,0010	0,0040	0,0086	0,0211	0,0355	0,0557	0,0803	0,0951
1,2	0,0007	0,0026	0,0056	0,0142	0,0249	0,0409	0,0629	0,0774
1,5	0,0004	0,0015	0,0032	0,0084	0,0152	0,0265	0,0440	0,0572
2	0,0002	0,0007	0,0015	0,0041	0,0076	0,0139	0,0253	0,0355
3	0,0001	0,0002	0,0005	0,0013	0,0026	0,0050	0,0100	0,0154
4	--	0,0001	0,0002	0,0006	0,0011	0,0023	0,0047	0,0077
5	--	--	0,0001	0,0003	0,0006	0,0012	0,0026	0,0043

Como se puede ver en las tablas anteriores hace falta conocer los siguientes parámetros para acceder a la tabla:

$$\frac{L}{R} \quad y \quad \frac{x}{R} \tag{12}$$

En la siguiente imagen se muestra un esquema para identificar de manera más fácil las longitudes:



**Figura 46. Esquema incendio rectangular**

Fuente: J. Casal, H. Montiel, E. Planas, J. A. Vilchez. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales.* Edición UPC, 1999. Capítulo 4.

Dónde:

- $L$  es la altura de la llama en m.
- $R$  es la longitud del incendio.
- $x$  es la distancia hasta la zona que afecta en m.

En el caso de que el incendio tuviera geometría cilíndrica el factor de vista vertical y horizontal se calcularían con las siguientes tablas:

**Tabla 7. Factor de vista vertical de un cilindro**

Fuente: J. Casal, H. Montiel, E. Planas, J. A. Vílchez. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales.* Edición UPC, 1999. Capítulo 4.

$b = x/R$	$a = L/R$									
	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	6,0	10,0	20,0
1,10	0,330	0,415	0,449	0,453	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454
1,20	0,196	0,308	0,397	0,413	0,416	0,416	0,416	0,416	0,416	0,416
1,30	0,130	0,227	0,344	0,376	0,383	0,384	0,384	0,384	0,384	0,384
1,40	0,096	0,173	0,296	0,342	0,354	0,356	0,356	0,357	0,357	0,357
1,50	0,071	0,135	0,253	0,312	0,329	0,312	0,333	0,333	0,333	0,333
2,00	0,028	0,056	0,126	0,194	0,236	0,245	0,248	0,249	0,249	0,249
3,00	0,009	0,019	0,047	0,086	0,132	0,150	0,161	0,163	0,165	0,166
4,00	0,005	0,010	0,024	0,047	0,080	0,100	0,115	0,119	0,123	0,124
5,00	0,003	0,006	0,015	0,029	0,053	0,069	0,086	0,091	0,097	0,099
10,00	0,000	0,001	0,003	0,006	0,013	0,019	0,029	0,032	0,042	0,048
20,00	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,004	0,007	0,009	0,014	0,020
50,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,004

**Tabla 8. Factor de vista horizontal de un cilindro**

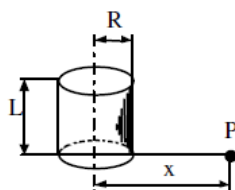
Fuente: J. Casal, H. Montiel, E. Planas, J. A. Vílchez. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales.* Edición UPC, 1999. Capítulo 4.

$b = x/R$	$a = L/R$									
	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	6,0	10,0	20,0
1,10	0,132	0,242	0,332	0,354	0,360	0,362	0,362	0,362	0,363	0,363
1,20	0,044	0,120	0,243	0,291	0,307	0,310	0,312	0,312	0,313	0,313
1,30	0,020	0,065	0,178	0,242	0,268	0,274	0,277	0,270	0,278	0,279
1,40	0,011	0,038	0,130	0,203	0,238	0,246	0,250	0,251	0,252	0,253
1,50	0,005	0,024	0,097	0,170	0,212	0,222	0,228	0,229	0,231	0,232
2,00	0,001	0,005	0,027	0,073	0,126	0,145	0,158	0,160	0,164	0,166
3,00	0,000	0,000	0,005	0,019	0,050	0,071	0,091	0,095	0,103	0,106
4,00	0,000	0,000	0,001	0,007	0,022	0,038	0,057	0,062	0,073	0,078
5,00	0,000	0,000	0,000	0,003	0,011	0,021	0,037	0,043	0,054	0,061
10,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,007	0,009	0,017	0,026
20,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003	0,003
50,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Como se puede ver en las tablas anteriores hace falta conocer los siguientes parámetros para acceder a la tabla:

$$\frac{L}{R} \quad y \quad \frac{x}{R} \tag{12}$$

En la siguiente imagen se muestra un esquema para identificar de manera más fácil las longitudes:



**Figura 47. Esquema incendio rectangular**

Fuente: J. Casal, H. Montiel, E. Planas, J. A. Vílchez. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales.* Edición UPC, 1999. Capítulo 4.

Dónde:

- $L$  es la altura de la llama en m.
- $R$  es el radio del incendio.
- $x$  es la distancia hasta la zona que afecta en m.

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m \cdot \Delta H_c}{A} \quad (13)$$

Dónde:

- $\eta_{rad}$  es el 0,3.
- $m$  es el caudal másico en kg/s
- $\Delta H_c$  es la entalpía de combustión en kJ/kg
- $A$  es el área total del paralelepípedo/cilindro en m<sup>2</sup>.

Área total del cilindro:

$$A_T = \pi \cdot D \cdot L + \frac{2 \cdot \pi \cdot D^2}{4} \quad (14)$$

Área total del paralelepípedo:

$$A_T = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c) \quad (15)$$

En la siguiente imagen se muestra un esquema de un cilindro y un paralelepípedo recto:

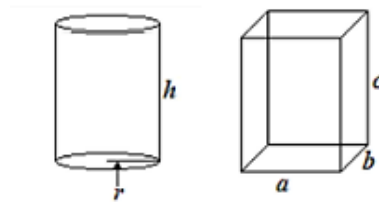


Figura 48. Esquema cilindro y paralelepípedo recto

#### 4. Desplazamiento de la llama

El desplazamiento de la llama se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\frac{D'}{D} = 1,5 \cdot \left( \frac{u_w^2}{g \cdot a} \right)^{0,069} \quad (16)$$

Dónde:

- $u_w$  es la velocidad del viento en m/s.
- $a$  es el ancho del incendio.
- $g$  es la constante de gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).

En la siguiente imagen se muestra un esquema del desplazamiento de la llama:

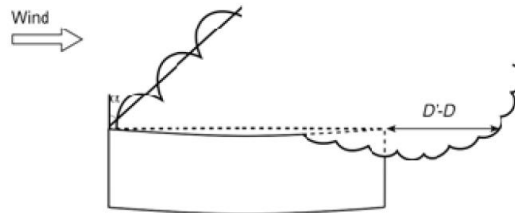


Figura 49. Esquema del desplazamiento de la llama

Fuente: J. Casal, H. Montiel, E. Planas, J. A. Vilchez. Análisis del riesgo en instalaciones industriales. Edición UPC, 1999. Capítulo 4.

## 5. Vulnerabilidad a la radiación térmica

Existen diferentes ecuaciones Probit que nos permiten conocer los efectos de la radiación térmica sobre las personas expuestas a ella.

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) \quad (17)$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) \quad (18)$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) \quad (19)$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) \quad (20)$$

Dónde:

- $t$  es el tiempo de exposición en segundos.
- $I$  es la intensidad de la radiación en W/m<sup>2</sup>.

Para poder hacer uso de las ecuaciones 17, 18, 19 y 20 es necesario utilizar la siguiente tabla:

Tabla 9. Relación entre la variable Probit y el %.

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
---	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Fuente: J. Casal, H. Montiel, E. Planas, J. A. Vilchez. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. Edición UPC, 1999. Capítulo 9

### 6.3 Cálculos de un incendio teórico

En este apartado se aplicarán las ecuaciones expuestas anteriormente a dos casos diferentes; en el primero se considerará sólo el depósito y en el segundo se tendrá en cuenta tanto el depósito como el material que hay dentro de él y de esta manera se podrá identificar como afectan y contribuyen al fuego cada uno de los materiales implicados en el incendio.

#### 6.3.2 Contenedor vacío

Con el contenedor vacío se considerarán dos casos: en el primero el contenedor está en perfecto estado. Este primer caso se evaluará para cada uno de los diferentes depósitos para poder hacer comparaciones entre ellos. En el segundo supuesto el contenedor está completamente licuado y se forma en el suelo un charco de unos dos metros de diámetro. Los cálculos detallados se encuentran en el anexo II. En este apartado solo se muestra la tabla resumen de los resultados obtenidos.

Consideraciones y datos relevantes:

- La distancia para la cual se hacen los cálculos de vulnerabilidad es de 5 m.
- $m''$  ideal del polietileno, polipropileno y poliéster se considera de 0,014 kg/m<sup>2</sup>s. [29]
- El polietileno y polipropileno tienen una  $\Delta H_c$  aproximadamente de 46000 kJ/kg. [30]
- El poliéster tiene una  $\Delta H_c$  aproximadamente de 18000 kJ/kg, que se usará para el contenedor iglú, Compact 3000 y Dúo 3500. [31]
- La velocidad del viento se supone de unos 16 km/h lo que equivale a unos 4,5 m/s.

- Se supone un tiempo de exposición de 45 segundos.
- $\eta_{rad}$  se considera de 0,3.
- La humedad relativa,  $H_R$ , se considera del 50%.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos al calcular un incendio teórico de forma rectangular en los depósitos cuadrados y de forma cilíndrica en el depósito con forma de iglú y el charco de PP y PE y de poliéster:

**Tabla 10. Resultados para el contenedor vacío**

	H (m)	E (kw/m <sup>2</sup> )	I (kw/m <sup>2</sup> )	D'/D (m)	Quemaduras de 1º grado (%)	Quemaduras de 2º grado (%)	Letalidad sin protección (%)	Letalidad con protección (%)
<b>Inyección 3200L</b>	2,05	27,44	4,25	1,52	61	0	0	0
<b>Inyección 2200L</b>	1,63	28,63	4,69	1,55	75	0	0	0
<b>Metal - plástico 3200 L</b>	1,83	29,64	4,59	1,53	73	0	0	0
<b>Metal - plástico 2400 L</b>	1,70	31,80	5,21	1,55	86	2	0	0
<b>MGB 1100 FD</b>	2,45	12,61	2,75	1,59	7	0	0	0
<b>MGB 770</b>	2,45	15,95	3,48	1,59	30	0	0	0
<b>MGB 660</b>	2,45	15,83	3,46	1,59	29	0	0	0
<b>Iglú</b>	2,00	15,30	0,75	1,52	0	0	0	0
<b>Compact 3000</b>	2,04	10,01	2,00	1,52	0	0	0	0
<b>Dúo 3500</b>	2,04	10,50	2,10	1,51	0	0	0	0
<b>Charco de 2 m de PP y PE</b>	2,24	38,79	1,91	1,50	0	0	0	0
<b>Charco de 2 m de poliéster</b>	2,24	15,18	0,75	1,50	0	0	0	0

Tal y como se puede ver la tabla anterior, y debido a que todos los contenedores tienen medidas muy similares, los resultados obtenidos son prácticamente idénticos. La gran diferencia entre los contenedores de Ros Roca y Thesal es el material de construcción del ya que los primeros son de PP y PE y los segundos de poliéster y, precisamente, es esta la razón por la cual hay una diferencia considerable en cuanto a la intensidad de radiación entre unos y otros.

Los cálculos han sido realizados para una distancia de 5 m durante 45 segundos y se puede afirmar que con esta exposición el único daño que pueden sufrir los expuestos son quemaduras de primer grado. Por otra parte, y debido a que los resultados obtenidos son muy semejantes, los siguientes cálculos se harán solo para contenedor de carga lateral de

inyección de Ros Roca de 3200 L ya que son los depósitos utilizados en las pruebas con los bomberos descritas anteriormente. Para poder conocer cómo afecta el tiempo de exposición y la distancia a la que se encuentre el objeto o persona del incendio se harán los cálculos para distancias de 0 a 4 m y para un tiempo de exposición de 60 a 180 segundos. Los resultados obtenidos son los siguientes:

**Tabla 11. Intensidad de radiación y vulnerabilidad para 1 m de distancia**

$I= 4,35 \text{ kW/m}^2$	Quemaduras de 1º grado (%)	Quemaduras de 2º grado (%)	Letalidad sin protección (%)	Letalidad con protección (%)
60 seg	89	2	1	0
120 seg	100	81	30	9
180 seg	100	89	70	37

**Tabla 12. Intensidad de radiación y vulnerabilidad para 2 m de distancia**

$I= 3,95 \text{ kW/m}^2$	Quemaduras de 1º grado (%)	Quemaduras de 2º grado (%)	Letalidad sin protección (%)	Letalidad con protección (%)
60 seg	80	0	0	0
120 seg	99,8	35	20	4
180 seg	100	81	57	25

**Tabla 13. Intensidad de radiación y vulnerabilidad para 3 m de distancia**

$I= 3,57 \text{ kW/m}^2$	Quemaduras de 1º grado (%)	Quemaduras de 2º grado (%)	Letalidad sin protección (%)	Letalidad con protección (%)
60 seg	67	0	0	0
120 seg	99,5	22	13	2
180 seg	100	68	44	15

**Tabla 14. Intensidad de radiación y vulnerabilidad para 4 m de distancia**

$I=3,28 \text{ kW/m}^2$	Quemaduras de 1º grado (%)	Quemaduras de 2º grado (%)	Letalidad sin protección (%)	Letalidad con protección (%)
60 seg	54	0	0	0
120 seg	99	13	7	1
180 seg	100	55	33	10

De las tablas 12, 13, 14 y 15, se puede afirmar que la distancia de seguridad adecuada para las personas es, de al menos, cuatro metros y el tiempo de exposición menor de dos minutos ya que a partir de este momento las consecuencias pueden ser graves.

### 6.3.3 Contenedor con residuos

En este caso se considera que el contenedor de carga lateral de inyección de Ros Roca de 3200 L está lleno de residuos y que estos ocupan todo el volumen del depósito. Los cálculos detallados se encuentran en el anexo III ya que en este apartado solo se muestran las tablas resumen de los resultados obtenidos.

Consideraciones y datos relevantes:

- La distancia para la cual se hacen los cálculos de vulnerabilidad será desde 1 a 3 m.
- $m''$  ideal de los residuos se considera igual a la del depósito ya que no se han encontrado datos de los mismos.
- La velocidad del viento se supone de unos 16 km/h lo que equivale a unos 4,5 m/s.
- Se considerarán tiempos de exposición desde 60 a 240 segundos.
- La  $\Delta H_c$  del RSU se considera de 11600 kJ/kg. [10]
- La  $\Delta H_c$  del papel y cartón se considera de 14400 kJ/kg. [10]
- $\eta_{rad}$  se considera de 0,3.
- La humedad relativa,  $H_R$ , se considera del 50%.

En las tablas 16, 17 y 18 se muestran los resultados de intensidad de radiación y vulnerabilidad para un contenedor de carga lateral de inyección de Ros Roca de 3200 L que está lleno de RSU a 1, 2 y 3 metros de distancia respectivamente desde 60 a 240 segundos de exposición:

**Tabla 15. Intensidad de radiación y vulnerabilidad a 1 m de distancia**

$I= 1090 \text{ kW/m}^2$	Quemaduras de 1º grado (%)	Quemaduras de 2º grado (%)	Letalidad sin protección (%)	Letalidad con protección (%)
60 seg	0	0	0	0
120 seg	1	0	0	0
180 seg	15	0	0	0
240 seg	46	0	0	0

**Tabla 16. Intensidad de radiación y vulnerabilidad a 2 m de distancia**

$I= 996 \text{ kW/m}^2$	Quemaduras de 1º grado (%)	Quemaduras de 2º grado (%)	Letalidad sin protección (%)	Letalidad con protección (%)
60 seg	0	0	0	0
120 seg	0	0	0	0
180 seg	9	0	0	0
240 seg	31	0	0	0



Tabla 17. Intensidad de radiación y vulnerabilidad a 3 m de distancia

I= 901 kW/m <sup>2</sup>	Quemaduras de 1º grado (%)	Quemaduras de 2º grado (%)	Letalidad sin protección (%)	Letalidad con protección (%)
60 seg	0	0	0	0
120 seg	0	0	0	0
180 seg	4	0	0	0
240 seg	19	0	0	0

En las tablas 19, 20 y 21 se muestran los resultados de intensidad de radiación y vulnerabilidad para un contenedor de carga lateral de inyección de Ros Roca de 3200 L que está lleno de papel y cartón a 1, 2 y 3 metros de distancia respectivamente desde 60 a 240 segundos de exposición:

Tabla 18. Intensidad de radiación y vulnerabilidad a 1 m de distancia

I= 1,10 kW/m <sup>2</sup>	Quemaduras de 1º grado (%)	Quemaduras de 2º grado (%)	Letalidad sin protección (%)	Letalidad con protección (%)
60 seg	0	0	0	0
120 seg	1	0	0	0
180 seg	7	0	0	0
240 seg	46	0	0	0

Tabla 19. Intensidad de radiación y vulnerabilidad a 2 m de distancia

I= 0,996 kW/m <sup>2</sup>	Quemaduras de 1º grado (%)	Quemaduras de 2º grado (%)	Letalidad sin protección (%)	Letalidad con protección (%)
60 seg	0	0	0	0
120 seg	0	0	0	0
180 seg	9	0	0	0
240 seg	31	0	0	0

Tabla 20. Intensidad de radiación y vulnerabilidad a 3 m de distancia

I= 0,901 kW/m <sup>2</sup>	Quemaduras de 1º grado (%)	Quemaduras de 2º grado (%)	Letalidad sin protección (%)	Letalidad con protección (%)
60 seg	0	0	0	0
120 seg	0	0	0	0
180 seg	4	0	0	0
240 seg	9	0	0	0

A partir de las tablas anteriores se puede afirmar que tanto para la quema de RSU como la de papel y cartón, es posible someterse a la radiación que emite hasta dos minutos a un metro de distancia sin sufrir ninguna consecuencia. Por otra parte, también es importante mencionar que en el incendio de un contenedor de basura aporta más intensidad de radiación a la llama el propio contenedor de PP y PE que el residuo del interior ya que la entalpía de combustión de los residuos es mucho menor que la del plástico del depósito.

## 7 Propuesta preventiva

---

En el presente capítulo se presentan diferentes propuestas preventivas para evitar que los contenedores de basura sean objeto de actos vandálicos y que en el caso de que lo sean los desperfectos causados sobre los mismos y sobre el entorno sean los mínimos.

Una vez que se inicia el incendio, si no se actúa a tiempo y con los medios adecuados, se producirá su propagación y ocurrirán unas consecuencias con daños materiales y a las personas. Para determinar la magnitud de las consecuencias, los factores a analizar son las medidas de protección contra incendios. Las medidas se dividen en sistemas de protección pasiva y sistemas de protección activa.

### 7.1 Medidas de protección pasiva

Estas medidas son aquellas cuya eficacia depende de su mera presencia; no actúan directamente sobre el fuego pero pueden dificultar o imposibilitar su propagación además de facilitar su extinción. A continuación se muestran algunas de estas medidas:

#### 1. Contenedores metálicos (ignífugos)

Los contenedores de metal tienen una mayor resistencia frente al fuego que los contenedores plásticos pero, el gran hándicap de éstos, es que provocan mucho más ruido durante la recogida de los residuos, por parte del camión recolector de basura, y por lo tanto, producen mayores molestias sonoras a los vecinos.

En la siguiente imagen, obtenida de un vídeo de Youtube se muestra la diferencia, después de casi 18 minutos de incendio, entre un contenedor de plástico convencional y uno de acero.



Figura 50. Comparación incendio en contenedor de plástico y de acero

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=glONB84c08s>

Tal y como se puede ver en la imagen anterior, el contenedor metálico es capaz de contener el fuego en su interior, mientras que el contenedor de plástico contribuye considerablemente al fuego y además facilita su dispersión y propagación ya que se forma una balsa de plástico derretido que puede fluir fácilmente hacia los alrededores.

## 2. Contenedores con retardantes

Los retardantes del fuego son compuestos químicos que incorporados o aplicados a un material suprime o retarda la combustión del mismo (ignición, propagación de la llama, liberación de calor, humos y gases tóxicos), en mayor o menor proporción, dependiendo del retardante utilizado.

Los retardantes del fuego como la lana de roca o la fibra de vidrio resultan especialmente útiles para evitar tanto la propagación del fuego como para minimizar los efectos de este. Los contenedores se pueden construir en su totalidad con retardantes pero esto supone un aumento considerable en su coste por lo que una opción más viable económicamente es la de incluir retardante solo en la tapa. Con esto hecho se consigue que el fuego no avance tan rápido ya que la tapa no solo le impide continuar sino que además no lo alimenta. En la siguiente imagen, obtenida de un vídeo de Youtube se muestra una comparación entre la quema de dos contenedores, uno de tapa normal y otro con la tapa con un retardante del fuego:



**Figura 46. Comparación entre la quema de contenedores con tapa estándar o con tapa con retardante**

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=ILUMARK9U8g>

Como se puede ver en la imagen anterior, después de casi 8 minutos de incendio en el caso de la tapa convencional, ésta ya ha sido totalmente quemada y en el caso de la tapa con retardante no solo está intacta sino que ayuda a la extinción del incendio.

### 3. Contenedores subterráneos

Los contenedores subterráneos, descritos en apartados anteriores, aportan diferentes beneficios frente a los convencionales. La cualidad más importante es el hecho de que se encuentren bajo tierra ya que como el contenedor está oculto y no se tiene acceso al residuo generado se producen menos actos vandálicos.

### 4. Recogida neumática de residuos

Este nuevo sistema de recogida consiste en emplear redes subterráneas de tuberías para transportar los residuos hasta una central de recogida impulsando estos con aire a presión. Este innovador sistema requiere de una gran inversión ya que es necesaria la instalación de toda la red de tuberías. Las ventajas que presenta son:

- No es necesario un sistema de recogida programada con camiones recolectores.
- El residuo no se almacena hasta que se recolecta sino que va directamente hasta la central de recogida por lo que se evita la acumulación de residuos en el contenedor.

Por otra parte, los inconvenientes que tiene son:

- Altos costes de inversión
- Mantenimiento especializado las 24 horas del día ya que el sistema no puede fallar.
- Depende totalmente de la energía eléctrica.
- Supone dificultades para la recogida selectiva.

En la siguiente imagen se muestra un esquema de este tipo de sistema:

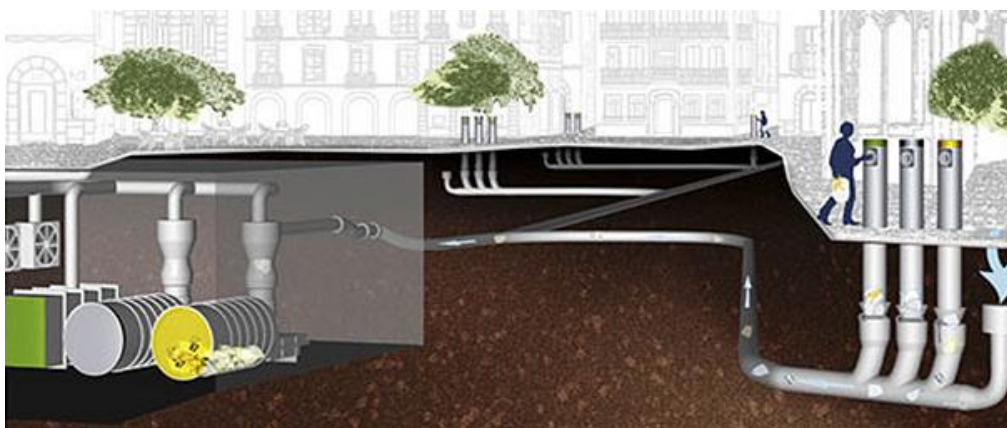


Figura 52. Sistema de recogida neumática de residuos

Fuente: <https://loveverde.wordpress.com/2013/03/23/el-milagro-de-la-recogida-neumatica/>

Tal y como se puede ver en la imagen anterior, el sistema de recogida neumática consiste en un sistema de tuberías conectadas por las que se desplaza neumáticamente el residuo hasta la central de recogida. [22]

## 5. Separación mínima entre contenedores

Establecer una separación mínima entre contenedores es una medida preventiva una vez que ya se ha producido el incendio. Con esto no se consigue que el contenedor arda menos pero si se consigue que el fuego no se extienda tan fácilmente entre los distintos contenedores que seguramente habrá a ambos lados del mismo. Tal y como se ha calculado anteriormente, una separación mínima de 1,5 m sería suficiente para evitar la propagación del incendio ya que esta es la distancia que se desplaza la llama lateralmente con una velocidad del viento de unos 16 km/h aunque la intensidad de radiación si podrá dañar superficialmente el plástico del depósito de los lados.

En la siguiente imagen se puede ver como el mantener una distancia de seguridad entre contenedores, asegura, que en el caso de que surja un incendio este, no perjudique al resto.



**Figura 53. Separación mínima entre contenedores**

Fuente: <http://www.elcorreo.com/miranda/201510/04/factura-reponer-contenedores-quemados-20151003210325.htm>

## 6. Rodear los contenedores de un bordillo

El rodear los contenedores con un bordillo supone un beneficio cuando los contenedores son quemados ya que, como se ha visto anteriormente, el plástico que los compone se derrite y fluye por lo que no solo contribuye al fuego si no que ayuda a extenderlo. Con la construcción de bordillos de ladrillo de unos 25 cm alrededor de los contenedores se conseguiría que cuando estos son quemados no se propague el fuego tan fácilmente ya que el plástico queda retenido en esa zona.

## 7. Evitar aparcamiento y árboles cerca

Al igual que es recomendable el evitar situar los contenedores muy cerca unos de otros ya que el fuego se extiende muy fácilmente entre ellos, es igual de recomendable evitar que no haya árboles o coches alrededor de los mismos ya que así las consecuencias y los daños materiales y naturales de un incendio de este tipo serán considerablemente menores. Tal y como se ha mencionado anteriormente, una separación mínima de 1,5 sería suficiente para evitar la propagación.

A modo de ejemplo, en la imagen siguiente se muestra cómo, tras la quema de un contenedor de basura, acaban quemados dos árboles y dos coches que se encontraban en las proximidades del contenedor.



Figura 54. Un contenedor, dos coches y dos árboles quemados en un incendio

Fuente: <http://www.levante-emv.com/valencia/2014/03/05/incendio-calcina-contenedor-vehiculos-afecta/1086946.html>

## 7.2 Medidas de protección activa

Estas medidas son las de lucha contra incendios, es decir, entran en acción una vez se produce el incendio y son claves para evitar la propagación del mismo. Dentro de estos sistemas se engloban otros dos tipos de medidas de protección:

### 1. Contenedores con detectores de humo

En el caso de los contenedores subterráneos es posible el instalar detectores de humo en el interior de manera que si se produce un incendio se envíe una señal de alarma a los bomberos. Este sistema sería más sencillo y barato que el anterior pero igual de efectivo frente a actos vandálicos.

Finalmente, es importante mencionar que todas estas medidas de protección y prevención analizadas en este apartado es necesario que se encuentren en perfecto estado ya que en

caso de estar deterioradas no actuarán como es debido por lo que es indispensable un buen mantenimiento de las instalaciones.

## 2. Contenedores inteligentes

Este tipo de recipientes disponen de un dispositivo digital que no solo indica el espacio libre del contenedor sino que también dispone de una alarma que da el aviso cuando se produce algún incidente.

Con este método resulta más fácil el programar una recogida de los residuos mucho más eficiente ya que antes de empezar la recogida ya se sabe que contenedores están vacíos y cuáles no, además, también se pueden programar recogidas extra en contenedores que se llenan muy rápido y evitar así que haya contenedores llenos que si se quemasen tendrían más combustible para quemar. Una opción extra sería el diseñar una aplicación para el móvil con la que se pueda conocer el estado actual del recipiente y permitir así a la población elegir dónde y cuándo depositar sus residuos.

En la siguiente imagen se muestran dos contenedores inteligentes actualmente usados en Londres:



Estos contenedores disponen de un pantalla en la que, debido a que se encuentran conectados a internet, es posible no solo mostrar el estado del contenedor, sino que en ella también se puede dar información del tiempo o del estado actual del transporte público de la ciudad, entre otras muchas opciones disponibles. [23]

Figura 55. Contenedores inteligentes

Fuente: <http://thecoolgadgets.com/smart-recycle-bins-popping-up-on-london-streets/>

## 8 Toxicidad de los humos

---

La finalidad de este capítulo es el estudio de los humos producidos en un incendio así como los efectos negativos que estos provocan a los seres humanos.

### 8.1 El humo

Los humos se componen de partículas de diferente tamaño y color, incompletamente quemadas, que son arrastradas por corrientes de convección y se hacen visibles obstaculizando el paso de la luz hasta impedirlo por completo. El humo puede también ser inflamable cuando se encuentra con una adecuada proporción de calor y de oxígeno.

El humo es irritante para el aparato respiratorio y para los ojos. Su color depende de las sustancias que arden y de la cantidad de oxígeno presente en el ambiente. El color del humo puede aportar las primeras hipótesis del material que está siendo quemado. [24]

- **Humos blancos:** corresponde con la combustión de productos vegetales, forrajes o piensos entre otros.
- **Humos amarillos:** indica que están ardiendo sustancias químicas que contienen azufre o combustibles que contienen ácido clorhídrico y nítrico.
- **Humos grises:** representa que arden compuestos celulósicos o fibras artificiales.
- **Humo negro claro:** este color corresponde al caucho.
- **Humo negro oscuro:** indica que se está quemando petróleo o fibras acrílicas.

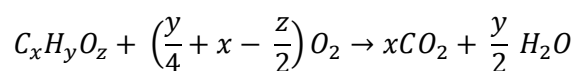
Independientemente del color que tengan las llamas siempre hay que tener en cuenta que el humo puede ir mezclado con diferentes gases tóxicos que modifiquen su color.

Por otra parte, cuando arde un combustible, se descompone en una serie de productos que, por sí mismos o tras reaccionar con los componentes del aire, provocan la emisión de una serie de gases cuyos principales riesgos suelen ser su toxicidad y su temperatura. Los más peligrosos se detallan a continuación aunque para obtener más información se puede consultar el anexo IV en el cual se muestran las fichas de seguridad de los mismos. [24]



## Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

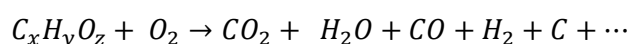
Se desprende en combustibles orgánicos cuando la combustión se realiza en ambientes aireados, es decir, cuando se produce una combustión completa. También se libera en muchos procesos de fermentación como el del vino o la cerveza. Aunque es un gas inerte, se debe considerar como peligroso ya que al ser más pesado que el aire, desplaza al oxígeno y por lo tanto puede provocar asfixia. Además, el CO<sub>2</sub> es un narcótico por lo que provoca jaquecas, somnolencia, confusiones, pudiendo llegar al coma profundo. Al igual que el CO a concentraciones tóxicas tampoco hay alerta por olor aunque en el caso de estudio al tratarse de un incendio exterior nunca se alcanzarán concentraciones tóxicas. Una combustión completa estequiometría sería de la siguiente manera:



Como se puede ver en la reacción química anterior, en una reacción estequiométrica sólo se produce CO<sub>2</sub> y agua pero, en condiciones reales, difícilmente se da una combustión perfectamente estequiométrica ya que si fuera así nunca se produciría CO ni otros subproductos que se describirán a continuación. [27]

## Monóxido de carbono (CO)

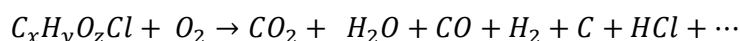
Es un producto de la combustión incompleta de combustibles orgánicos como el carbón, el petróleo o la madera según la siguiente reacción química:



También está presente en los humos de escape de vehículos y en el humo de tabaco. El monóxido de carbono tiene un olor y sabor muy débil incluso a concentraciones tóxicas, lo que aumenta su peligrosidad. Produce asfixia y se combina con la hemoglobina de la sangre para formar la carboxihemoglobina, arrebatando a la sangre el oxígeno que el cuerpo necesita. Al producirse una pérdida de gas, se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire pero, en el caso que nos ocupa, esto no resulta relevante ya que al tratarse de un incendio al aire libre este gas se dispersará rápidamente en el ambiente y en ningún momento se alcanzarán esas concentraciones tóxicas. [27]

### Cloruro de hidrógeno (HCl)

Este gas se desprende en combustiones de materias plásticas que contienen cloro como se puede ver en la siguiente reacción química:

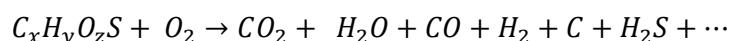


Este gas es irritante, tóxico y corrosivo ya que al contacto con la humedad del ambiente se transforma en ácido clorhídrico. Al tratarse de un gas corrosivo puede provocar sensación de quemazón, tos y dificultad respiratoria y los síntomas pueden no ser inmediatos.

Los límites de exposición profesional son (INSHT 2011): VLA-ED: 5 ppm; 7,6 mg/m<sup>3</sup> VLA-EC: 10 ppm, 15 mg/m<sup>3</sup>. [27]

### Sulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S)

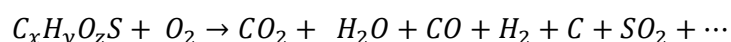
Se desprende cuando arden materias orgánicas que contienen azufre, lana, gomas, caucho, o cuero entre otros.



Este gas tiene un olor muy característico a huevos podridos y en concentraciones altas produce mareos y parálisis respiratoria. Generalmente se puede detectar el olor a bajas concentraciones en el aire, entre 0,0005 y 0,3 ppm. Sin embargo, en altas concentraciones, una persona puede perder la capacidad para olerlo lo que puede hacer al ácido sulfhídrico muy peligroso. Cuando se libera en forma de gas, permanece en la atmósfera durante un promedio de 18 horas. En este período, el ácido sulfhídrico puede transformarse a anhídrido sulfuroso y a ácido sulfúrico. [27]

### Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

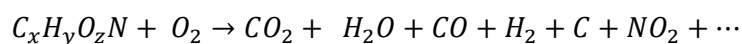
Se origina en la combustión de materias que contienen azufre:



El dióxido de azufre es un gas incoloro de olor acre. Este gas es un irritante intenso, intolerable aún en concentraciones muy inferiores a las mortales. La exposición a 100 ppm se considera de peligro inmediato para la salud y peligro mortal. En el aire, puede convertirse en ácido sulfúrico, anhídrido sulfúrico y sulfatos. [27]

### Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

Los óxidos de nitrógeno son liberados al aire desde el escape de vehículos motorizados, de la combustión del carbón, petróleo, o gas natural:

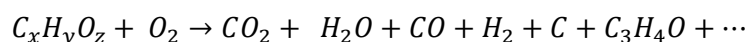


Este producto también se produce durante procesos tales como la detonación de dinamita. Aparece en la combustión de nitrato de celulosa, nitrato amónico y cuando el ácido nítrico entra en contacto con otros materiales como madera o diferentes metales. Este gas se identifica por su color marrón rojizo y es altamente tóxico a concentraciones elevadas, pudiendo aparecer sus efectos incluso bastante tiempo después de haberlo respirado.

Este gas a baja concentración en el aire puede irritar los ojos, la nariz, la garganta, los pulmones, y posiblemente causar tos y una sensación de falta de aliento, cansancio y náusea. La exposición a bajos niveles también puede producir acumulación de líquido en los pulmones 1 ó 2 días luego de la exposición. [27]

### Acroleína (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O)

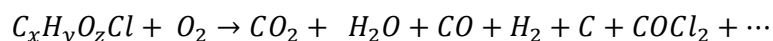
La acroleína es un líquido incoloro o amarillo de olor desagradable. Se disuelve fácilmente en agua y se evapora rápidamente cuando se calienta. Se produce en la combustión de productos petrolíferos como aceites lubricantes, grasas o asfaltos y puede aparecer en fuegos de materiales comunes tales como la madera y el papel:



Por otra parte, el humo de cigarrillo y los gases del tubo de escape de automóviles también lo contienen. Este producto de la combustión se degrada relativamente rápido en el aire (aproximadamente la mitad desaparecerá en 1 día) al reaccionar con otras sustancias químicas y la luz natural. Este gas es altamente tóxico y mortal a determinadas concentraciones que nunca se alcanzarán en el fuego de estudio ya que no es un incendio confinado. [27]

### Fosgeno (COCl<sub>2</sub>)

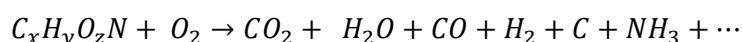
El fosgeno es un gas incoloro, no inflamable a temperatura ambiente que huele a heno recién cortado. Es altamente tóxico y se produce en la combustión de los productos clorados:



Este producto también se produce en la utilización de tetracloruro de carbono al ponerse en contacto con el calor. En el caso concreto de estudio no se liberará pero es importante mencionar su toxicidad ya que irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación del gas puede originar edema pulmonar aunque los efectos pueden no aparecer de manera inmediata. La exposición a altas concentraciones puede producir la muerte. [27]

### Amoniaco (NH<sub>3</sub>)

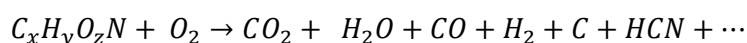
Se desprende cuando arden combustibles que contienen nitrógeno como lana, seda, o plásticos:



El amoniaco produce un olor insoportable y acre. Tiene efectos irritantes para ojos y nariz. Largas permanencias en concentraciones altas provocan desde lesiones en la córnea hasta complicaciones pulmonares. En el caso de estudio no este producto prácticamente no se producirá ya que los combustibles disponibles, a priori, no contienen nitrógeno. [27]

### Cianuro de hidrógeno (HCN)

Se desprende cuando arde lana, seda, polímeros de acrilonitrilo, nylon, poliuretano y resinas de urea, es decir, productos que contienen nitrógeno en su forma molecular como se puede ver en la siguiente reacción química:



El cianuro de hidrógeno huele a almendras amargas, es altamente tóxico y rápidamente mortal, produciendo parálisis respiratoria. Una concentración de 300 ppm en el aire es suficiente para matar a un humano en cuestión de minutos. Su toxicidad se debe al ion cianuro CN<sup>-</sup>, que inhibe la respiración celular. Puede ser absorbida por inhalación, a través de la piel y por ingestión, además, el gas se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. Al igual que en el caso anterior, este producto prácticamente no se

producirá en este caso de estudio ya que los combustibles disponibles no contienen nitrógeno. [27]

## 8.2 Efectos de los humos y gases tóxicos

El material que se quema desprenderá distintos gases tóxicos y humos que tendrán, por un lado, una acción directa sobre la persona y, de otro, dificultarán la evacuación y la acción contra el incendio. Dependiendo del tiempo de exposición y de las características del individuo habrá distintos grados de lesiones ya que los productos de la combustión actuarán en mayor o menor intensidad y tendrán mayor o menor repercusión.

El humo en sí, representa un riesgo importante para cualquier persona que se aproxime al incendio ya que, al margen de que reduce la visibilidad, le produce irritación de la garganta, ojos y mucosas e, incluso, exposiciones largas afectan al ritmo normal de la respiración, disminuyendo considerablemente la capacidad de respuesta de la persona que los inhala.

Los efectos generales los podemos dividir en dos grandes grupos

- **Efectos generales**

En todos los incendios se van a producir humo y gases tóxicos resultantes de la combustión que van a crear pánico entre la gente, disminución de la visibilidad, desorientación y disminución de oxígeno en el aire.

- **Efectos específicos**

Dependerán de la toxicidad de los humos y gases de la combustión, en función de los materiales quemados de ahí la gran importancia que tiene conocer la composición del material, el aislamiento del mismo y su comportamiento en caso de combustión por los distintos gases tóxicos que puede desprender y que se pueden clasificar en tres grupos

- Los gases solubles o irritantes van a tener un comportamiento frente al hombre a nivel local, irritando las mucosas del tracto respiratorio y órgano de la visión. Si la exposición es larga se dañarán estos órganos y se producirán quemaduras a estos niveles, insuficiencia respiratoria y, si sobrevive, lesiones irreversibles como estenosis de vías respiratorias tras la cicatrización. A este grupo pertenecen gases como el amoníaco, el ácido sulfuroso, la acroleína, el fosgeno o el NO<sub>2</sub>.
- Los gases insolubles o asfixiantes carecen del carácter irritante de los anteriores que, por esta acción, advierten de su toxicidad permitiendo un menor tiempo de exposición. Por el contrario, los gases insolubles van a tener un mayor contacto con los distintos órganos, provocando lesiones de mayores dimensiones a nivel fundamentalmente de

alvéolos y parénquima pulmonar, con la producción de edema a este nivel, quemadura química y posterior infección, con tendencia a la destrucción del tejido y limitando el intercambio de gases e instaurando una insuficiencia respiratoria de dimensiones imprevisibles. A este grupo pertenecen el ácido cianhídrico, el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{CO}$ .

- Los gases con acción intoxicante general producen una acción depresora sobre los centros nerviosos y la consiguiente pérdida de conciencia lo que, al margen de su acción sobre estos centros y las lesiones en los bronquiolos-parénquima pulmonar, provocará un mayor tiempo de exposición al resto de los elementos facilitando su acción. Dentro de este grupo se encuentran el sulfhídrico, los fosfatos inorgánicos y el hexaetiltrafosfato entre otros. [24]

## 9 Evaluación de Impacto Ambiental

---

El objetivo de este análisis medioambiental es identificar los principales focos de contaminación derivados de la quema de contenedores de basura en espacios públicos. En esta sección se detallarán las interacciones y relaciones de estos actos vandálicos con el medioambiente, analizando los distintos focos de contaminación, su relevancia medioambiental y las medidas correctoras necesarias.

### 9.1 Introducción

En la siguiente Evaluación de Impacto Ambiental se identificarán, describirán y evaluarán, de forma adecuada, los efectos directos e indirectos que provocará la quema de contenedores sobre los siguientes factores:

- El ser humano, la fauna y la flora.
- El suelo, agua, aire, clima y el paisaje.
- Los bienes materiales y el patrimonio cultural.

### 9.2 Efectos sobre el ser humano, la fauna y la flora

Los incendios siempre tienen una mayor o menor afectación sobre el ser humano, la fauna y la flora, ya sean urbanos o forestales. En el caso que nos atañe, los efectos irán directamente relacionados con los materiales que se estén quemando además de la rapidez de actuación del servicio de bomberos. El ser humano y la fauna pueden resultar dañados directamente por las llamas, es decir, pueden sufrir quemaduras de distinto grado y/o, también, pueden resultar afectados por la inhalación del humo o los gases que se desprenden como ya ha sido comentado en el apartado anterior. Finalmente la flora también puede verse afectada debido a que es muy probable que se encuentren árboles alrededor de la zona incendiada.

### 9.3 Efectos sobre el suelo, el aire, el clima y el paisaje

Los incendios urbanos, como es el caso en los incendios de contenedores de basura, no tienen grandes efectos sobre el suelo, el clima o el paisaje ya que se trata de incendios de pequeñas dimensiones.

Por el contrario, si pueden tener efectos a corto plazo sobre el aire de la zona ya que se pueden desprender distintas sustancias químicas, como las ya mencionadas anteriormente, además del humo que siempre se generará debido a que básicamente se está quemando el plástico del contenedor.

#### 9.4 Efectos sobre los bienes materiales y el patrimonio cultural

Los incendios de contenedores de basura afectarán prácticamente siempre a bienes materiales y/o a patrimonio cultural ya que al tener lugar en zonas urbanas y generalmente estar rodeados por otras cosas, en la mayoría de los casos resultarán dañados todos bienes que se encuentren alrededor, ya sean otros contenedores, coches o bancos entre otros.



## 10 Comparación económica entre contenedores con y sin aislante térmico

El objetivo de este capítulo es hacer una comparación económica entre los contenedores convencionales, es decir, los que no disponen de ningún tipo de recubierto aislante, frente a otros que si lo incluyen. Para ello se proponen tres alternativas:

1. **Recubrir el contenedor interiormente:** no supone ninguna ventaja en el caso de que el fuego no ocurra dentro del propio depósito ya que el fuego se propagará igualmente.
2. **Recubrir el contenedor exteriormente:** no aporta beneficio en el caso de que el incendio se origine en el interior del depósito además de que puede resultar costoso a nivel de diseño ya que implicaría modificar algunas de las partes de los depósitos actuales como ganchos o palancas.
3. **Introducir aislante entre las paredes del depósito:** la opción más lógica tanto para evitar la propagación desde dentro del depósito y hacia el mismo.

En primer lugar es necesario comentar que el precio medio de un contenedor de basura convencional es de unos 2500 €. Los aislantes elegidos son la fibra de vidrio y la lana de roca debido a que son dos aislantes muy comunes y económicos. Se han encontrado tanto múltiples características como precios por lo que se ha optado por elegir el más económico:

- El precio de la fibra de vidrio es de 2,09 €/m<sup>2</sup>.  
(Fuente: LeroyMerlin)
- El precio de la lana de roca es de 2,05 €/m<sup>2</sup>.  
(Fuente: LeroyMerlin)



Figura 56. Lana de roca

Fuente: <http://www.leroymerlin.es/>



Figura 57. Fibra de vidrio

Fuente: <http://www.leroymerlin.es/>

Para el caso de un contenedor de 3200 L, asumiendo que tiene la forma de cubo perfecto se estima que se necesitan 3m<sup>2</sup> de aislante en cada una de las paredes.

En la siguiente tabla se muestra el coste extra que supondría el instalar revestimiento de fibra de vidrio o de lana de roca en un contenedor de basura.

**Tabla 21. Coste de incluir aislante térmico en los contenedores**

	<b>Aislante completo</b>	<b>Aislante superior</b>	
<b>Fibra de vidrio</b>	37,62	6,27	€
<b>Lana de roca</b>	36,90	6,15	€

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de <http://www.leroymerlin.es/>

Sin tener en cuenta el coste que puede ocasionar el tener que construir el contenedor con una capa de aislante entre dos capas de PE/PP, tanto el coste de instalar aislante tan sólo en la tapa o en todo el contenedor es mínimo sobre el coste total del mismo y, como ya se ha visto anteriormente, este aislante resulta muy útil en caso de que ocurra un incendio en el depósito. [26]

## 11 Conclusiones

---

- La gran mayoría de los incendios de contenedores vienen derivados actos vandálicos y por lo tanto son incendios provocados.
- La quema de contenedores, generalmente, no solo afecta al depósito en sí, sino que también afecta a cualquier mobiliario que haya alrededor ya sean vehículos, otros contenedores o árboles.
- Existen múltiples tamaños y formas de contenedores de basura y la gran mayoría están formados por PE y PP.
- El sistema de protección más común consiste en enterrar los depósitos de basura ya que se libera espacio y se elimina el impacto visual de los contenedores
- Los combustibles sólidos más comunes en estos incendios son: materiales celulósicos, en los contenedores de papel y cartón, plásticos, en el contenedor de envases ligeros y metales y polvos en el contenedor de residuos domésticos.
- Los contenedores de metal tienen una mayor resistencia frente al fuego que los contenedores plásticos.
- Los retardantes del fuego como la lana de roca o la fibra de vidrio resultan especialmente útiles para evitar tanto la propagación del fuego como para minimizar los efectos de este incluso si solo se incorporan en la tapa del depósito.
- El sistema de recogida neumática consiste en emplear redes subterráneas de tuberías para transportar los residuos hasta una central de recogida impulsando estos con aire a presión y por lo tanto no es necesario un sistema de recogida programada con camiones recolectores además de que el residuo no se almacena hasta que se recolecta sino que va directamente hasta la central de recogida por lo que se evita la acumulación de residuos en el contenedor.
- El establecer una separación mínima de 1,5 m entre contenedores resulta muy útil una vez que ya se ha producido el incendio ya que se consigue que no se extienda tan fácilmente entre los distintos contenedores que seguramente habrá a ambos lados del mismo.
- Es muy recomendable evitar que no haya árboles o coches alrededor de los contenedores, o al menos estén a una distancia de 1,5 m, ya que así las consecuencias y los daños materiales y naturales de un incendio de este tipo serán considerablemente menores.

- Con la construcción de bordillos alrededor de los contenedores se consigue que cuando estos son quemados no se propague el fuego tan fácilmente.
- El instalar detectores de humo en el interior de los depósitos puede ayudar a que se minimicen las consecuencias ya que se podrá actuar con mayor rapidez.
- Los contenedores inteligentes permiten conocer el estado del contenedor en todo momento por lo que se puede programar una recogida de los residuos mucho más eficiente.
- Al quemar un contenedor lleno de papel, el depósito queda totalmente consumido por las llamas en menos de seis minutos.
- Si se queman un contenedor lleno de papel que se encuentra rodeado de otros tres, en menos de 15 minutos el incendio ya se propagó por todos los depósitos incluso aunque uno de ellos estuviera protegido por una manta resistente a las llamas.
- En el incendio de un contenedor de basura aporta más intensidad de radiación a la llama el propio contenedor de PP y PE que el residuo del interior ya que la entalpía de combustión de los residuos es mucho menor que la del depósito.
- La distancia de seguridad adecuada para las personas es, de al menos, cuatro metros y el tiempo de exposición menor de dos minutos ya que a partir de este momento las consecuencias pueden ser graves.
- Todos los contenedores tienen medidas muy similares por lo que los resultados obtenidos son prácticamente idénticos. La gran diferencia entre los contenedores de Ros Roca y Thesal es el material de construcción del ya que los primeros son de PP y PE y los segundos de poliéster y, precisamente, es esta la razón por la cual hay una diferencia considerable en cuanto a la intensidad de radiación entre unos y otros.
- Los gases más peligrosos que se producen en un incendio son: monóxido de carbono (CO), anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), cloruro de hidrógeno (HCl), sulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), acroleína (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O), fosgeno (COCl<sub>2</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>), cianuro de hidrógeno (HCN).
- El humo representa un riesgo importante para cualquier persona que se aproxime al incendio ya que, al margen de que reduce la visibilidad, le produce irritación de la garganta, ojos y mucosas e, incluso, exposiciones largas afectan al ritmo normal de la respiración, disminuyendo considerablemente la capacidad de respuesta de la persona que los inhala.

- Los incendios siempre tienen una mayor o menor afectación sobre el ser humano, la fauna y la flora, ya sean urbanos o forestales. En el caso de la quema de contenedores, los efectos irán directamente relacionados con los materiales que se estén quemando además de la rapidez de actuación del servicio de bomberos.
- Tras la realización de la comparación económica entre depósitos sin y con aislante térmico se puede afirmar que el coste de instalar un aislante tan sólo en la tapa es mínimo sobre el coste total del contenedor y, como ya se ha visto anteriormente, este aislante resulta muy útil en caso de que ocurra un incendio en el depósito.

## 12 Referencias bibliográficas

---

### 1. Documentos, libros y manuales

- [10] Hurley, Morgan J., SFPE: "SFPE Handbook of fire protection Engineering". New York, Springer, 2016, 5th edition.
- [13] Escuela de organización industrial, & Opti, F. (2011). Green jobs. Empleo verde en España 2010. Capítulo 4.
- [14] «BOE» núm. 181, de 29 de julio de 2011.
- [16] Grant, C. C., & Drysdale, D. (2001). Capítulo 41-Incendios-Riesgos Generales. Enciclopedia de Salud Y Seguridad En El Trabajo. Volumen II., 32.
- [19] Bomberos de Navarra. Nafarroako Suhiltzaileak. Combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. Felix Esparza.
- [24] INATED. Manual de prevención contra incendios. Unidad didáctica 1.
- [28] J. Casal, H. Montiel, E. Planas, J. A. Vílchez. Análisis del riesgo en instalaciones industriales. Edición UPC, 1999. Capítulo 4 y 9.
- [29] J. Moncada, J. A. Moncada. Manual de protección contra incendios. 5ª Edición en Español. Marzo 2009. Volumen I.
- [30] A. B. Picado, M. Álvarez. Química I Introducción al estudio de la materia. UNED. Editorial Universidad Estatal a Distancia. 2008
- [31] N. Buezas. Guía de plásticos y fuego: Informe de novedades tecnológicas. Programa de fomento de la innovación en Institutos Tecnológicos. Diciembre 2010.

### 2. Páginas web

- [1] <http://www.20minutos.es/noticia/2667664/0/vandalismo-reponer-contenedores-madrid/>
- [2] [http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/aragon/turismo-5-contenedores-basura-arden-zaragoza-pasada-madrugada\\_1042300.html](http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/aragon/turismo-5-contenedores-basura-arden-zaragoza-pasada-madrugada_1042300.html)
- [3] <http://www.elmundo.es/baleares/2016/01/22/56a2025246163f14308b45f4.html>

- [4] <http://www.diariodeburgos.es/noticia/Z69660AAD-CC73-9945-FB945EFDC1E375AB/20150818/mas/40/contenedores/basura/arden/cada/a%C3%B1o/actos/vandalicos>
- [5] [http://www.diariodeleon.es/noticias/provincia/guardia-civil-detiene-joven-quemar-contenedores-basura\\_1105018.html](http://www.diariodeleon.es/noticias/provincia/guardia-civil-detiene-joven-quemar-contenedores-basura_1105018.html)
- [6] [http://cadenaser.com/emisora/2017/01/03/ser\\_guadalajara/1483424252\\_511097.html](http://cadenaser.com/emisora/2017/01/03/ser_guadalajara/1483424252_511097.html)
- [7] <http://www.lasprovincias.es/safor/piromano-quema-contenedores-20170811000532-ntvo.html>
- [8] <https://www.nist.gov/%3Cfront%3E/fire-dynamics>
- [9] <http://www.nfpa.org/news-and-research/news-and-media/press-room/reporters-guide-to-fire-and-nfpa/all-about-fire>
- [11] <http://www.rosroca.com/es/>
- [12] <http://www.thesal.es/>
- [15] <http://www2.uned.es/biblioteca/rsu/pagina1.htm>
- [17] <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/>
- [18] <http://vcsst.uma.es/sga/index.php/101-aspectos-ambientales/aspectos-ambientales/>
- [20] <https://www.youtube.com/watch?v=glONB84c08s>
- [21] <https://www.youtube.com/watch?v=ILUMARk9U8g>
- [22] <https://loveverde.wordpress.com/2013/03/23/el-milagro-de-la-recogida-neumatica/>
- [23] [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp\\_599.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_599.pdf)
- [25] <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.a82abc159115c8090128ca10060961ca/?vgnnextoid=4458908b51593110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>

[26] [http://www.leroymerlin.es/productos/construccion/aislamiento/aislamiento\\_termico](http://www.leroymerlin.es/productos/construccion/aislamiento/aislamiento_termico)

[27] <https://www.atsdr.cdc.gov/es/>

***Barcelona, Octubre 2017***

La autora del proyecto

*Sara Canosa Rodiño*



## Anexo I

### 1. Ros Roca

- *Contenedor de carga lateral de inyección*

Un esquema de este tipo de contenedores se presenta en la siguiente figura:

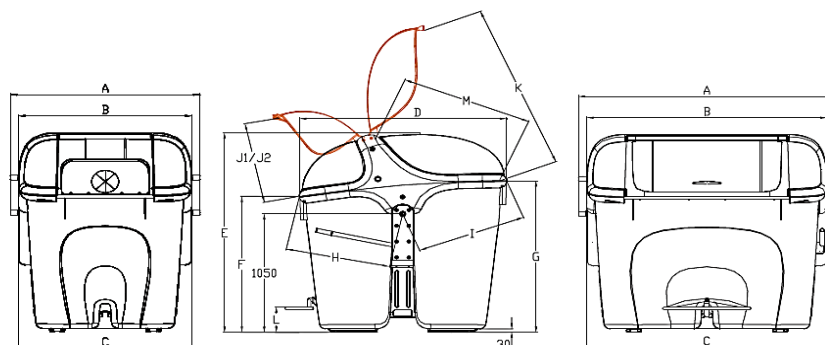


Figura 58. Esquema contenedor de carga lateral de inyección.

Fuente: <http://www.rosroca.com/es/>

Las medidas de este depósito son las siguientes:

Tabla 22. Medidas contenedor carga lateral de inyección.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de <http://www.rosroca.com/es/>

MODELO	2200	3200	Litros
<b>Capacidad nominal</b>	2200	3200	Litros
<b>Carga nominal</b>	880	1280	kg
<b>A</b>	Anchura total contenedor		1380 1880 mm
<b>B</b>	Anchura máxima en la zona superior del contenedor		1260 1760 mm
<b>C</b>	Anchura entre cajas laterales (dispositivo elevación)		1260 1760 mm
<b>D</b>	Profundidad total contenedor		1520 1520 mm
<b>E</b>	Altura total contenedor		1755 1755 mm
<b>F</b>	Altura del borde de carga del lado usuario		1200 1200 mm
<b>G</b>	Altura del borde de carga del lado calle		1340 1340 mm
<b>H</b>	Distancia eje elevación al borde de carga lado usuario		770 770 mm
<b>I</b>	Distancia eje elevación al borde de carga lado calle		815 815 mm
<b>L</b>	Altura del pedal estándar al suelo		223 223 mm
<b>J1</b>	Apertura mínima tapa usuario accionamiento pedal		500 500 mm
<b>J2</b>	Apertura máxima tapa lado usuario		550 550 mm
<b>K</b>	Apertura máxima tapa lado calle		1425 1425 mm
<b>M</b>	Boca de descarga mínima		980 980 mm
<b>Peso total en vacío del contenedor</b>	120	150	kg

○ *Contenedor carga lateral metalo-plástico*

Un esquema de este tipo de contenedores se presenta en la siguiente figura:

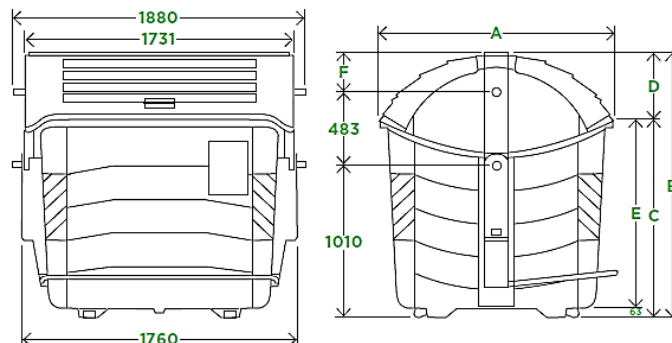


Figura 59. Esquema contenedor metalo-plástico.

Fuente: <http://www.rosroca.com/es/>

Las medidas de este depósito son las siguientes:

Tabla 23. Medidas contenedor carga lateral metalo- plástico.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de <http://www.rosroca.com/es/>

	MODELO	3200	2400	Litros
<b>A</b>	Anchura total contenedor	1500	1330	mm
<b>B</b>	Altura total contenedor	1735	1668	mm
<b>C</b>	Altura del borde de carga del lado usuario	1310	1283	mm
<b>D</b>	Altura tapa	425	385	mm
<b>E</b>	Altura del pedal a la tapa	1247	1220	mm
<b>F</b>	Altura de la boca a la parte superior	242	175	mm
	<b>Altura del pedal al suelo</b>	300	300	mm
	<b>Peso total contenedor RSU</b>	210	180	kg

• *MGB 1100 FD con tapa plana y curva*

Un esquema del contenedor MGB 1100 FD con tapa plana se presenta en la siguiente figura:

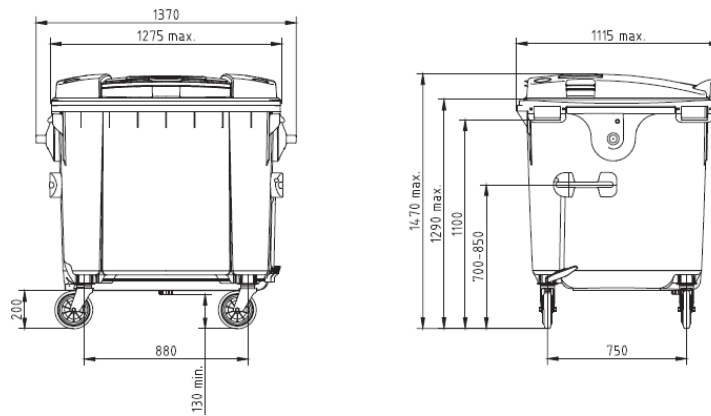


Figura 60. Esquema contenedor MGB 1100 FD con tapa plana.

Fuente: <http://www.rosroca.com/es/>

Las características de este depósito son las siguientes:

Tabla 24. Especificaciones contenedor MGB 1100 FD con tapa plana.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de <http://www.rosroca.com/es/>

<b>Volumen</b>	1100	Litros
<b>Peso neto</b>	65	kg
<b>Carga máxima</b>	440	kg
<b>Peso máximo permitido</b>	510	kg

Un esquema del contenedor MGB 1100 RD con tapa curva se presenta en la siguiente figura:

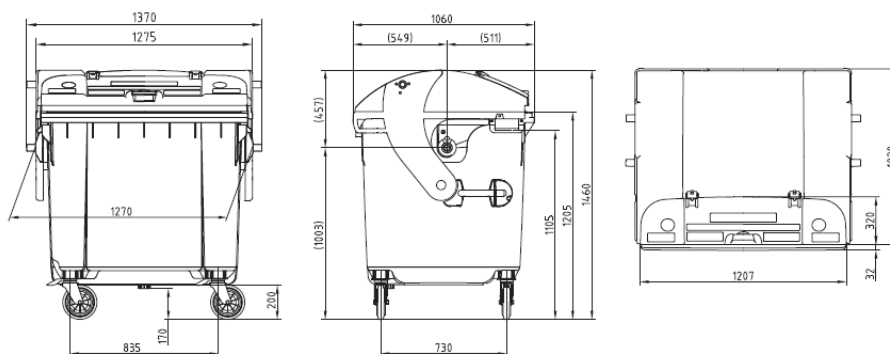


Figura 61. Esquema contenedor MGB 1100 RD con tapa curva.

Fuente: <http://www.rosroca.com/es/>

Las características de este depósito son las siguientes:

Tabla 25. Especificaciones contenedor MGB 1100 RD con tapa curva.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de <http://www.rosroca.com/es>

<b>Volumen</b>	1100	Litros
<b>Peso neto</b>	50	kg
<b>Carga máxima</b>	440	kg
<b>Peso máximo permitido</b>	510	kg

○ *Contenedores MGB 770 y MGB 660*

Un esquema del contenedor modelo MGB 770 se presenta en la siguiente figura:

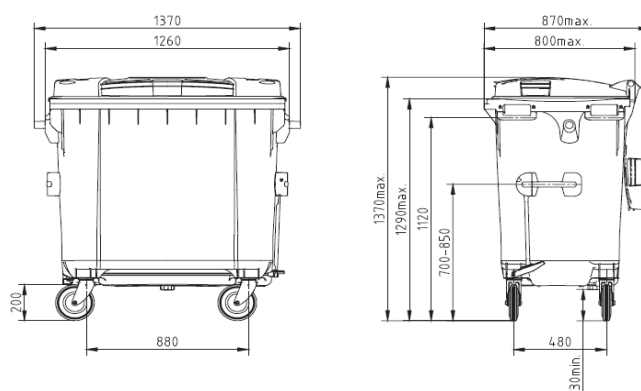


Figura 472. Esquema contenedor modelo MGB 770.

Fuente: <http://www.rosroca.com/es/>

Las características de este depósito son las siguientes:

Tabla 26. Especificaciones contenedor modelo MGB 770.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de <http://www.rosroca.com/es>

<b>Volumen</b>	770	Litros
<b>Peso neto</b>	46	kg
<b>Carga máxima</b>	310	kg
<b>Peso máximo permitido</b>	360	kg

Finalmente, un esquema del contenedor modelo MGB 660 se presenta en la siguiente figura:

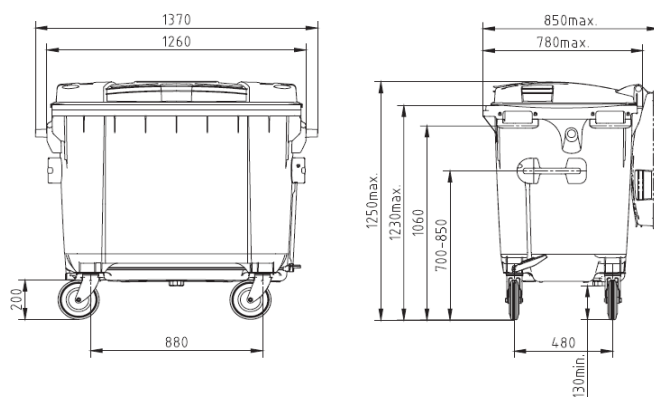


Figura 48. Esquema contenedor MGB 660.

Fuente: <http://www.rosroca.com/es/>

Las características de este depósito son las siguientes:

Tabla 27. Especificaciones contenedor modelo MGB 660.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de <http://www.rosroca.com/es/>

<b>Volumen</b>	760	Litros
<b>Peso neto</b>	43	kg
<b>Carga máxima</b>	265	kg
<b>Peso máximo permitido</b>	310	kg

## 2. Thesal

- **Contenedor iglú**

Un esquema de este tipo de contenedores se presenta en la siguiente figura:

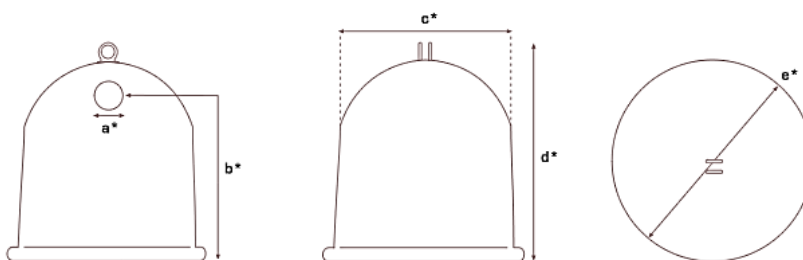


Figura 49. Esquema contenedor iglú.

Fuente: <http://www.thesal.es/>

Las medidas de este depósito son las siguientes:

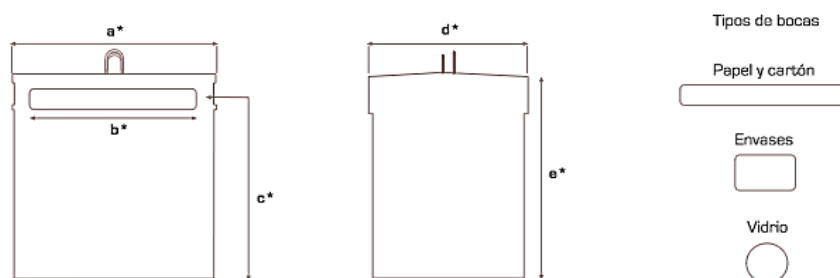
**Tabla 28. Medidas contenedor iglú.**

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de <http://www.thesal.es/>

<b>a</b>	Ancho boca	175	mm
<b>b</b>	Altura hasta la boca	1500	mm
<b>c</b>	Ancho superior	1424	mm
<b>d</b>	Altura total	1810	mm
<b>e</b>	Diámetro	1705	mm
	<b>Peso contenedor</b>	123	kg
	<b>Peso carga máxima</b>	1000	kg
	<b>Peso máximo total</b>	1123	kg

○ **Contenedor metálico**

Un esquema de este tipo de contenedores se presenta en la siguiente figura:



**Figura 65. Esquema contenedor metálico.**

Fuente: <http://www.thesal.es/>

Las medidas de este depósito son las siguientes:

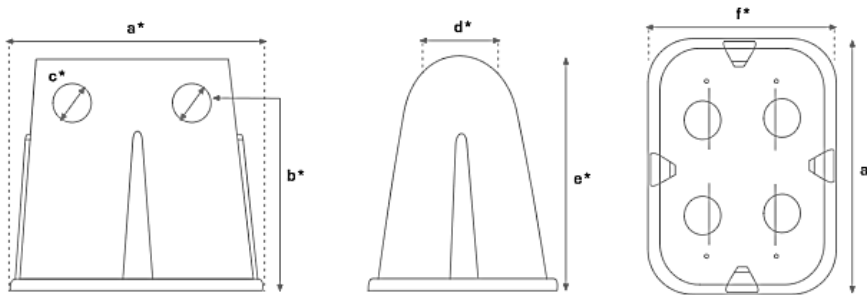
**Tabla 29. Medidas contenedor metálico**

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de <http://www.thesal.es/>

<b>a</b>	Ancho frontal	1600	mm
<b>b</b>	Altura hasta la boca	1300	mm
<b>c</b>	Ancho boca	1002,6 x 170	mm
<b>d</b>	Ancho lateral	1200	mm
<b>e</b>	Altura total	1630	mm
	<b>Peso contenedor</b>	275	kg
	<b>Peso carga máxima</b>	1500	kg
	<b>Peso máximo total</b>	1710	kg

○ **Contenedor Compact 3000**

Un esquema de este tipo de contenedores se presenta en la siguiente figura:



**Figura 66. Esquema contenedor Compact 3000.**

Fuente: <http://www.thesal.es/>

Las medidas de este depósito son las siguientes:

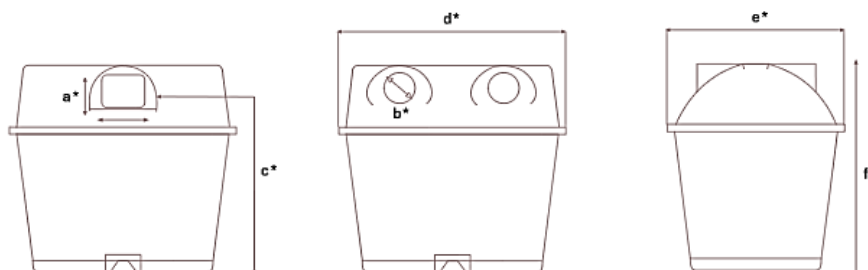
**Tabla 30. Medidas contenedor Compact 3000**

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de <http://www.thesal.es/>

<b>a</b>	Ancho frontal	1745	mm
<b>b</b>	Altura hasta la boca	1420	mm
<b>c</b>	Ancho boca	220	mm
<b>d</b>	Ancho superior	605	mm
<b>e</b>	Altura total	1665	mm
<b>f</b>	Ancho lateral	1275	mm
<b>Peso contenedor</b>		100	kg
<b>Peso carga máxima</b>		1000	kg
<b>Peso máximo total</b>		1100	kg

○ **Contenedor Dúo 3500**

Un esquema de este tipo de contenedores se presenta en la siguiente figura:



**Figura 67. Esquema contenedor Dúo 3500.**

Fuente: <http://www.thesal.es/>

Las medidas de este depósito son las siguientes:

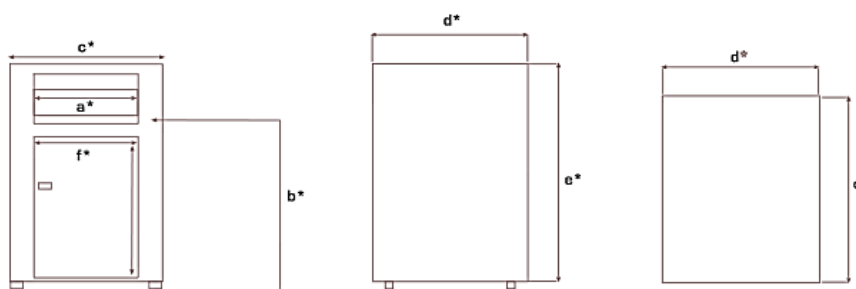
**Tabla 31. Medidas contenedor Dúo 3500.**

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de <http://www.thesal.es/>

<b>a</b>	Ancho x alto boca 1	370 x 270	mm
<b>b</b>	Altura boca 2	270	mm
<b>c</b>	Altura hasta la boca	1517	mm
<b>d</b>	Ancho frontal total	1900	mm
<b>e</b>	Altura lateral total	1490	mm
<b>f</b>	Altura total	1730	mm
<b>Peso contenedor</b>		125	kg
<b>Peso máximo carga</b>		1500	kg
<b>Peso máximo total</b>		1725	kg

○ *Contenedor textil*

Un esquema de este tipo de contenedores se presenta en la siguiente figura:



**Figura 50. Esquema contenedor de ropa.**

Fuente: <http://www.thesal.es/>

Las medidas de este depósito son las siguientes:

**Tabla 32. Medidas contenedor de ropa**

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de <http://www.thesal.es/>

<b>a</b>	Ancho boca	1010	mm
<b>b</b>	Altura hasta la boca	1450	mm
<b>c</b>	Ancho frontal	1140	mm
<b>d</b>	Ancho lateral	1930	mm
<b>e</b>	Altura total	1010 x 1250	mm
<b>f</b>	Puerta	1275	mm
<b>Peso contenedor</b>		205	kg
<b>Capacidad interior</b>		2	m <sup>3</sup>
<b>Peso máximo total</b>		1480	kg



## Anexo II

A continuación se presentan los cálculos asumiendo forma rectangular en los depósitos cuadrados y de forma cilíndrica en el depósito con forma de iglú y el charco de PP y PE y de poliéster:

### 1. Contenedor de carga lateral de inyección de 3200 L

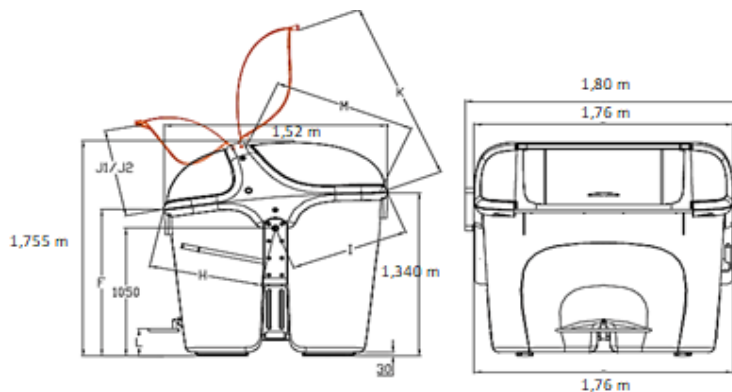


Figura 69. Esquema contenedor de carga lateral de inyección de 3200 L

- **Altura de la llama**

La altura de la llama se puede obtener mediante la ecuación Thomas (1963):

$$H = 84 \cdot b \cdot \left( \frac{m''}{\rho_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot b}} \right)^{0,61} = 84 \cdot 0,88 \cdot \left( \frac{0,014}{1,199 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,88}} \right)^{0,61} = 2,05 \text{ m}$$

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,05}{1,76} = 1,16 \quad \text{y} \quad \frac{x}{R} = \frac{5}{1,76} = 2,84$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 5 y 6 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,1734^2 + 0,0050^2} = 0,17$$

El área total de esta llama es:

$$A_T = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c) = 2 \cdot (1,76 \cdot 1,52 + 1,76 \cdot 2,05 + 1,52 \cdot 2,05) = 18,80 \text{ m}^2$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 2,67 \cdot 46000}{18,80} = 27,44 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 5 \right)^{-0,06} = 0,91$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,91 \cdot 0,17 \cdot 27,44 = 4,25 \text{ kW/m}^2$$

- **Desplazamiento de la llama**

El desplazamiento de la llama se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\frac{D'}{D} = 1,5 \cdot \left( \frac{u_w^2}{g \cdot D} \right)^{0,069} = 1,5 \cdot \left( \frac{4,5^2}{9,81 \cdot 1,76} \right)^{0,069} = 1,52 \text{ m}$$

- **Vulnerabilidad a la radiación térmica**

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 4250^{\frac{4}{3}} \right) = 5,28 \rightarrow 61\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 4250^{\frac{4}{3}} \right) = 1,98 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 4250^{\frac{4}{3}} \right) = 1,88 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 4250^{\frac{4}{3}} \right) = 1,03 \rightarrow 0\%$$

## 2. Contenedor de carga lateral de inyección de 2200 L

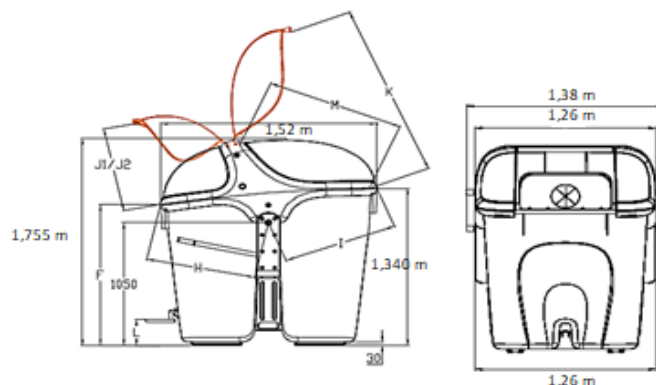


Figura 70. Esquema contenedor de carga lateral de inyección de 2200 L

- **Altura de la llama**

La altura de la llama se puede obtener mediante la ecuación Thomas (1963):

$$H = 84 \cdot b \cdot \left( \frac{m''}{\rho_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot b}} \right)^{0,61} = 84 \cdot 0,63 \cdot \left( \frac{0,014}{1,199 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,63}} \right)^{0,61} = 1,63 \text{ m}$$

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{1,63}{1,26} = 1,29 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{5}{1,26} = 3,96$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 5 y 6 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,1750^2 + 0,0023^2} = 0,18$$

El área total de esta llama es:

$$A_T = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c) = 2 \cdot (1,26 \cdot 1,52 + 1,26 \cdot 1,63 + 1,52 \cdot 1,63) = 12,89 \text{ m}^2$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 1,91 \cdot 46000}{12,89} = 28,63 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat} \cdot x}{100} \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 5 \right)^{-0,06} = 0,91$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,91 \cdot 0,18 \cdot 28,63 = 4,69 \text{ kW/m}^2$$

- **Desplazamiento de la llama**

El desplazamiento de la llama se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\frac{D'}{D} = 1,5 \cdot \left( \frac{u_w^2}{g \cdot D} \right)^{0,069} = 1,5 \cdot \left( \frac{4,5^2}{9,81 \cdot 1,26} \right)^{0,069} = 1,55 \text{ m}$$

- **Vulnerabilidad a la radiación térmica**

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 4690^{\frac{4}{3}} \right) = 5,68 \rightarrow 75\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 4690^{\frac{4}{3}} \right) = 2,37 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 4690^{\frac{4}{3}} \right) = 2,22 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 4690^{\frac{4}{3}} \right) = 1,37 \rightarrow 0\%$$

### 3. Contenedor carga lateral metalo-plástico de 3200 L

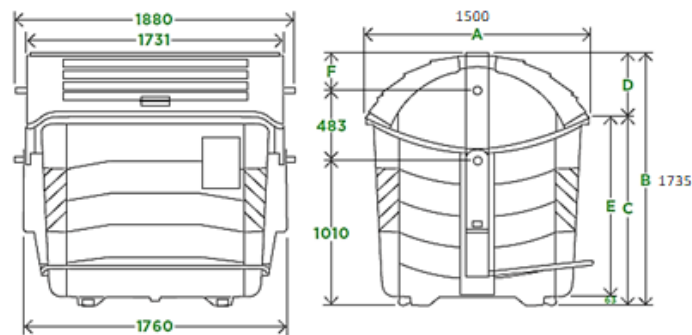


Figura 51. Esquema contenedor de carga lateral metalo- plástico de 3200L

- **Altura de la llama**

La altura de la llama se puede obtener mediante la ecuación Thomas (1963):

$$H = 84 \cdot b \cdot \left( \frac{m''}{\rho_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot b}} \right)^{0,61} = 84 \cdot 0,75 \cdot \left( \frac{0,014}{1,199 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,75}} \right)^{0,61} = 1,83 \text{ m}$$

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{1,83}{1,5} = 1,22 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{5}{1,5} = 3,33$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 5 y 6 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,1734^2 + 0,0050^2} = 0,17$$

El área total de esta llama es:

$$A_T = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c) = 2 \cdot (1,76 \cdot 1,50 + 1,76 \cdot 1,83 + 1,50 \cdot 1,83) = 17,21 \text{ m}^2$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 2,64 \cdot 46000}{17,21} = 29,64 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 5 \right)^{-0,06} = 0,91$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,91 \cdot 0,17 \cdot 29,64 = 4,59 \text{ kW/m}^2$$

- **Desplazamiento de la llama**

El desplazamiento de la llama se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\frac{D'}{D} = 1,5 \cdot \left( \frac{u_w^2}{g \cdot D} \right)^{0,069} = 1,5 \cdot \left( \frac{4,5^2}{9,81 \cdot 1,5} \right)^{0,069} = 1,53 \text{ m}$$

- **Vulnerabilidad a la radiación térmica**

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(45 \cdot 4590^{\frac{4}{3}}\right) = 5,60 \rightarrow 73\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(45 \cdot 4590^{\frac{4}{3}}\right) = 2,29 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(45 \cdot 4590^{\frac{4}{3}}\right) = 2,15 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(45 \cdot 4590^{\frac{4}{3}}\right) = 1,30 \rightarrow 0\%$$

#### 4. Contenedor carga lateral metalo-plástico de 2400 L

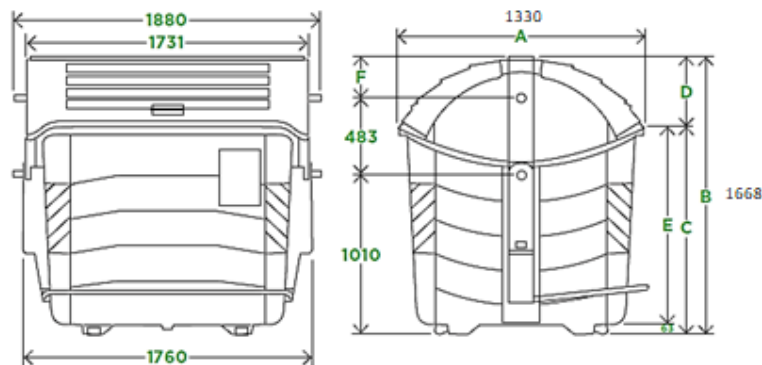


Figura 72. Esquema contenedor de carga lateral metalo- plástico de 2400L

- **Altura de la llama**

La altura de la llama se puede obtener mediante la ecuación Thomas (1963):

$$H = 84 \cdot b \cdot \left(\frac{m''}{\rho_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot b}}\right)^{0,61} = 84 \cdot 0,67 \cdot \left(\frac{0,014}{1,199 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,67}}\right)^{0,61} = 1,70 \text{ m}$$

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{1,70}{1,33} = 1,28 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{5}{1,33} = 3,75$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 5 y 6 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,1750^2 + 0,0047^2} = 0,18$$

El \u00e1rea total de esta llama es:

$$A_T = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c) = 2 \cdot (1,76 \cdot 1,33 + 1,76 \cdot 1,70 + 1,33 \cdot 1,70) = 15,19 \text{ m}^2$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 2,50 \cdot 46000}{15,19} = 31,80 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisi\u00f3n atmosf\u00e9rica se calcula mediante la siguiente ecuaci\u00f3n:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 5 \right)^{-0,06} = 0,91$$

A partir del coeficiente de transmisi\u00f3n atmosf\u00e9rica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiaci\u00f3n en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,91 \cdot 0,18 \cdot 31,80 = 5,21 \text{ kW/m}^2$$

- **Desplazamiento de la llama**

El desplazamiento de la llama se puede obtener mediante la siguiente expresi\u00f3n:

$$\frac{D'}{D} = 1,5 \cdot \left( \frac{u_w^2}{g \cdot D} \right)^{0,069} = 1,5 \cdot \left( \frac{4,5^2}{9,81 \cdot 1,33} \right)^{0,069} = 1,55 \text{ m}$$

- **Vulnerabilidad a la radiaci\u00f3n t\u00e9rmica**

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 5210^{\frac{4}{3}} \right) = 6,11 \rightarrow 86\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 5210^{\frac{4}{3}} \right) = 2,80 \rightarrow 2\%$$

- Letalidad sin protecci\u00f3n

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 5210^{\frac{4}{3}} \right) = 2,58 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 5210^{\frac{4}{3}} \right) = 1,73 \rightarrow 0\%$$

### 5. Contenedor MGB 1100 FD

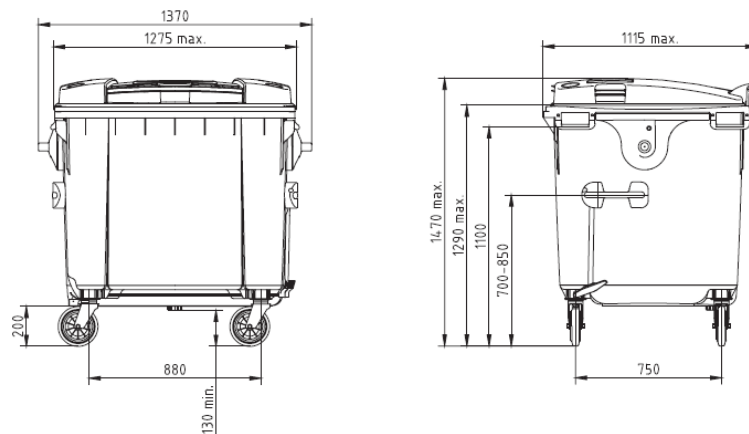


Figura 52. Esquema contenedor MGB 1100 FD

- **Altura de la llama**

La altura de la llama se puede obtener mediante la ecuación Thomas (1963):

$$H = 84 \cdot b \cdot \left( \frac{m''}{\rho_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot b}} \right)^{0,61} = 84 \cdot 0,44 \cdot \left( \frac{0,014}{1,199 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,44}} \right)^{0,61} = 2,45 \text{ m}$$

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,45}{0,88} = 2,78 \quad \text{y} \quad \frac{x}{R} = \frac{5}{0,88} = 5,68$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 5 y 6 se obtiene:

$$F_{\text{máx}} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,2350^2 + 0,0043^2} = 0,24$$

El área total de esta llama es:



$$A_T = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c) = 2 \cdot (1,275 \cdot 1,115 + 1,275 \cdot 2,45 + 1,115 \cdot 2,45) = 14,55 \text{ m}^2$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 0,95 \cdot 46000}{14,55} = 12,61 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 5 \right)^{-0,06} = 0,91$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,91 \cdot 0,24 \cdot 12,61 = 2,75 \text{ kW/m}^2$$

- **Desplazamiento de la llama**

El desplazamiento de la llama se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\frac{D'}{D} = 1,5 \cdot \left( \frac{u_w^2}{g \cdot D} \right)^{0,069} = 1,5 \cdot \left( \frac{4,5^2}{9,81 \cdot 0,88} \right)^{0,069} = 1,59 \text{ m}$$

- **Vulnerabilidad a la radiación térmica**

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 2750^{\frac{4}{3}} \right) = 3,53 \rightarrow 7\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 2750^{\frac{4}{3}} \right) = 0,22 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 2750^{\frac{4}{3}} \right) = 0,10 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 2750^{\frac{4}{3}} \right) = -0,45 \rightarrow 0\%$$

6. Contenedor MGB 770

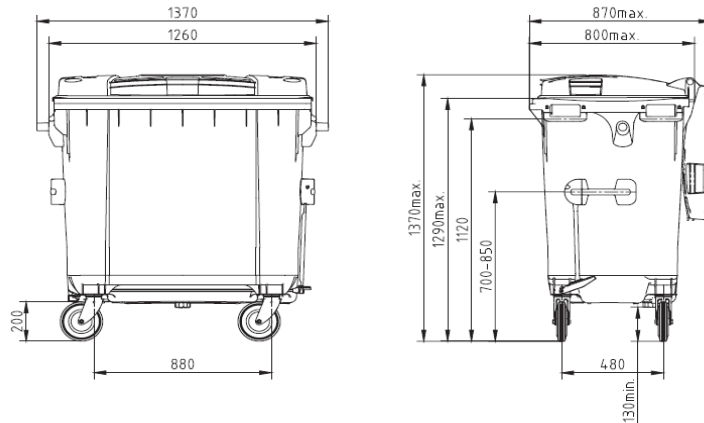


Figura 53. Esquema contenedor MGB 770 FD

- **Altura de la llama**

La altura de la llama se puede obtener mediante la ecuación Thomas (1963):

$$H = 84 \cdot b \cdot \left( \frac{m''}{\rho_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot b}} \right)^{0,61} = 84 \cdot 0,44 \cdot \left( \frac{0,014}{1,199 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,44}} \right)^{0,61} = 2,45 \text{ m}$$

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,45}{0,88} = 2,78 \quad \text{y} \quad \frac{x}{R} = \frac{5}{0,88} = 5,68$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 5 y 6 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,2350^2 + 0,0043^2} = 0,24$$

El área total de esta llama es:

$$A_T = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c) = 2 \cdot (1,26 \cdot 0,80 + 1,26 \cdot 2,45 + 0,80 \cdot 2,45) = 12,11 \text{ m}^2$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 1,00 \cdot 46000}{12,11} = 15,95 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0.06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 5 \right)^{-0.06} = 0,91$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,91 \cdot 0,24 \cdot 15,95 = 3,48 \text{ kW/m}^2$$

- **Desplazamiento de la llama**

El desplazamiento de la llama se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\frac{D'}{D} = 1,5 \cdot \left( \frac{u_w^2}{g \cdot D} \right)^{0.069} = 1,5 \cdot \left( \frac{4,5^2}{9,81 \cdot 0,88} \right)^{0.069} = 1,59 \text{ m}$$

- **Vulnerabilidad a la radiación térmica**

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 3480^{\frac{4}{3}} \right) = 4,48 \rightarrow 30\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 3480^{\frac{4}{3}} \right) = 1,17 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 3480^{\frac{4}{3}} \right) = 1,2 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 3480^{\frac{4}{3}} \right) = 0,35 \rightarrow 0\%$$

7. Contenedor MGB 660

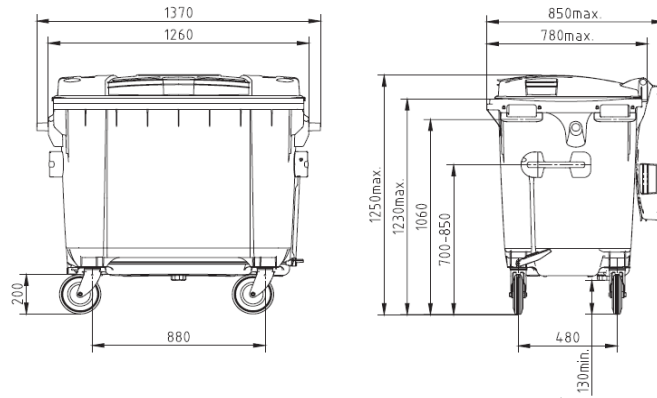


Figura 75. Esquema contenedor MGB 660 FD

• **Altura de la llama**

La altura de la llama se puede obtener mediante la ecuación Thomas (1963):

$$H = 84 \cdot b \cdot \left( \frac{m''}{\rho_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot b}} \right)^{0,61} = 84 \cdot 0,44 \cdot \left( \frac{0,014}{1,199 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,44}} \right)^{0,61} = 2,45 \text{ m}$$

• **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,45}{0,88} = 2,78 \quad \text{y} \quad \frac{x}{R} = \frac{5}{0,88} = 5,68$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 5 y 6 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,2350^2 + 0,0043^2} = 0,24$$

El área total de esta llama es:

$$A_T = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c) = 2 \cdot (1,26 \cdot 0,78 + 1,26 \cdot 2,45 + 0,78 \cdot 2,45) = 11,96 \text{ m}^2$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 0,98 \cdot 46000}{11,96} = 15,83 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 5 \right)^{-0,06} = 0,91$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,91 \cdot 0,24 \cdot 15,83 = 3,46 \text{ kW/m}^2$$

- **Desplazamiento de la llama**

El desplazamiento de la llama se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\frac{D'}{D} = 1,5 \cdot \left( \frac{u_w^2}{g \cdot D} \right)^{0,069} = 1,5 \cdot \left( \frac{4,5^2}{9,81 \cdot 0,88} \right)^{0,069} = 1,59 \text{ m}$$

- **Vulnerabilidad a la radiación térmica**

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 3460^{\frac{4}{3}} \right) = 4,46 \rightarrow 29\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 3460^{\frac{4}{3}} \right) = 1,15 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 3460^{\frac{4}{3}} \right) = 1,12 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 3460^{\frac{4}{3}} \right) = 0,33 \rightarrow 0\%$$

## 8. Contenedor iglú

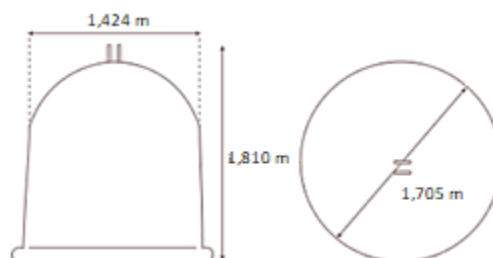


Figura 76. Esquema contenedor iglú

- **Altura de la llama**

La altura de la llama se puede obtener mediante la ecuación Thomas (1963):

$$H = 84 \cdot b \cdot \left( \frac{m''}{\rho_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot b}} \right)^{0,61} = 84 \cdot 0,85 \cdot \left( \frac{0,014}{1,199 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,85}} \right)^{0,61} = 2,0 \text{ m}$$

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,0}{0,85} = 2,35 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{5}{0,85} = 5,88$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 7 y 8 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,053^2 + 0,011^2} = 0,0541$$

El área total de esta llama es:

$$A_T = \pi \cdot D \cdot L + \frac{2 \cdot \pi \cdot D^2}{4} = \pi \cdot 1,705 \cdot 2 + \frac{2 \cdot \pi \cdot 1,705^2}{4} = 15,27 \text{ m}^2$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 3,09 \cdot 18000}{15,27} = 15,30 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 5 \right)^{-0,06} = 0,91$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,91 \cdot 0,0541 \cdot 15,30 = 0,75 \text{ kW/m}^2$$

- **Desplazamiento de la llama**

El desplazamiento de la llama se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\frac{D'}{D} = 1,5 \cdot \left( \frac{u_w^2}{g \cdot D} \right)^{0,069} = 1,5 \cdot \left( \frac{4,5^2}{9,81 \cdot 1,705} \right)^{0,069} = 1,52 \text{ m}$$

- **Vulnerabilidad a la radiación térmica**

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 750^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 750^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 750^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 750^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

## 9. Contenedor Compact 3000

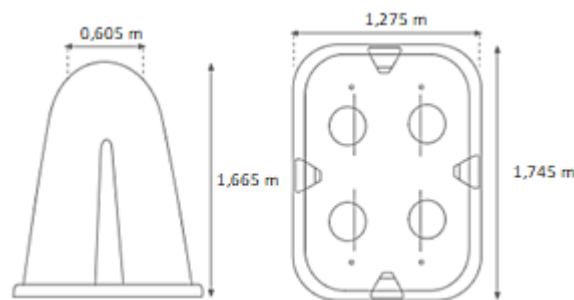


Figura 77. Esquema contenedor Compact 3000

- **Altura de la llama**

La altura de la llama se puede obtener mediante la ecuación Thomas (1963):

$$H = 84 \cdot b \cdot \left( \frac{m''}{\rho_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot b}} \right)^{0,61} = 84 \cdot 0,87 \cdot \left( \frac{0,014}{1,199 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,87}} \right)^{0,61} = 2,04 \text{ m}$$

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,04}{0,87} = 2,34 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{5}{0,87} = 5,75$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 5 y 6 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,221^2 + 0,0043^2} = 0,22$$

El área total de esta llama es:

$$A_T = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c) = 2 \cdot (1,745 \cdot 1,275 + 1,745 \cdot 2,04 + 1,275 \cdot 2,04) = 16,77 \text{ m}^2$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 2,22 \cdot 18000}{16,77} = 10,01 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat} \cdot x}{100} \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 5 \right)^{-0,06} = 0,91$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,91 \cdot 0,22 \cdot 10,01 = 2,00 \text{ kW/m}^2$$

- **Desplazamiento de la llama**

El desplazamiento de la llama se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\frac{D'}{D} = 1,5 \cdot \left( \frac{u_w^2}{g \cdot D} \right)^{0,069} = 1,5 \cdot \left( \frac{4,5^2}{9,81 \cdot 1,705} \right)^{0,069} = 1,52 \text{ m}$$

- **Vulnerabilidad a la radiación térmica**

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 2000^{\frac{4}{3}} \right) = 2,25 \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 2000^{\frac{4}{3}} \right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección



$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(45 \cdot 2000^{\frac{4}{3}}\right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(45 \cdot 2000^{\frac{4}{3}}\right) = \rightarrow 0\%$$

### 10. Contenedor Dúo 3500

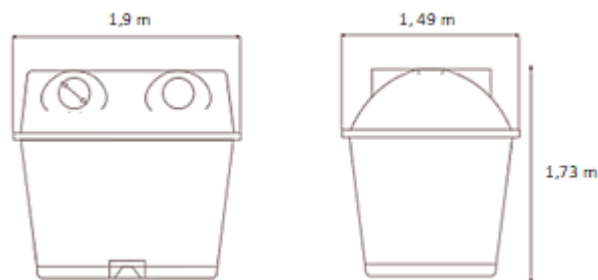


Figura 78. Esquema contenedor Dúo 3500

- **Altura de la llama**

La altura de la llama se puede obtener mediante la ecuación Thomas (1963):

$$H = 84 \cdot b \cdot \left(\frac{m''}{\rho_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot b}}\right)^{0,61} = 84 \cdot 0,95 \cdot \left(\frac{0,014}{1,199 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,95}}\right)^{0,61} = 2,17 \text{ m}$$

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,17}{0,95} = 2,28 \quad \text{y} \quad \frac{x}{R} = \frac{5}{0,95} = 5,26$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 5 y 6 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,221^2 + 0,0043^2} = 0,22$$

El área total de esta llama es:

$$A_T = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c) = 2 \cdot (1,9 \cdot 1,49 + 1,9 \cdot 2,17 + 1,49 \cdot 2,17) = 20,37 \text{ m}^2$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 2,83 \cdot 18000}{20,37} = 10,50 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 5 \right)^{-0,06} = 0,91$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,91 \cdot 0,22 \cdot 10,50 = 2,10 \text{ kW/m}^2$$

- **Desplazamiento de la llama**

El desplazamiento de la llama se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\frac{D'}{D} = 1,5 \cdot \left( \frac{u_w^2}{g \cdot D} \right)^{0,069} = 1,5 \cdot \left( \frac{4,5^2}{9,81 \cdot 1,900} \right)^{0,069} = 1,51 \text{ m}$$

- **Vulnerabilidad a la radiación térmica**

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 2100^{\frac{4}{3}} \right) = 2,45 \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 2100^{\frac{4}{3}} \right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 2100^{\frac{4}{3}} \right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 2100^{\frac{4}{3}} \right) = - \rightarrow 0\%$$

### 11. Charco de 2m de diámetro de PP y PE

- **Altura de la llama**

La altura de la llama se puede obtener mediante la ecuación Thomas (1963):

$$H = 84 \cdot b \cdot \left( \frac{m''}{\rho_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot b}} \right)^{0,61} = 84 \cdot 1 \cdot \left( \frac{0,014}{1,199 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1}} \right)^{0,61} = 2,24 \text{ m}$$

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,24}{1} = 2,24 \quad \text{y} \quad \frac{x}{R} = \frac{5}{1} = 5$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 5 y 6 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,053^2 + 0,011^2} = 0,0541$$

El área total de esta llama es:

$$A_T = \pi \cdot D \cdot L + \frac{2 \cdot \pi \cdot D^2}{4} = \pi \cdot 2 \cdot 2,24 + \frac{2 \cdot \pi \cdot 2^2}{4} = 15,64 \text{ m}^2$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 3,14 \cdot 46000}{15,64} = 38,79 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 5 \right)^{-0,06} = 0,91$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,91 \cdot 0,0541 \cdot 38,79 = 1,91 \text{ kW/m}^2$$

- **Desplazamiento de la llama**

El desplazamiento de la llama se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\frac{D'}{D} = 1,5 \cdot \left( \frac{u_w^2}{g \cdot D} \right)^{0,069} = 1,5 \cdot \left( \frac{4,5^2}{9,81 \cdot 2} \right)^{0,069} = 1,50 \text{ m}$$

- **Vulnerabilidad a la radiación térmica**

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 1910^{\frac{4}{3}} \right) = 2,07 \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 1910^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 1910^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 1910^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

## 12. Charco de 2m de diámetro de poliéster

- **Altura de la llama**

La altura de la llama se puede obtener mediante la ecuación Thomas (1963):

$$H = 84 \cdot b \cdot \left( \frac{m''}{\rho_a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot b}} \right)^{0,61} = 84 \cdot 1 \cdot \left( \frac{0,014}{1,199 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1}} \right)^{0,61} = 2,24 \text{ m}$$

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,24}{1} = 2,24 \quad \text{y} \quad \frac{x}{R} = \frac{5}{1} = 5$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 5 y 6 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,053^2 + 0,011^2} = 0,0541$$

El área total de esta llama es:

$$A_T = \pi \cdot D \cdot L + \frac{2 \cdot \pi \cdot D^2}{4} = \pi \cdot 2 \cdot 2,24 + \frac{2 \cdot \pi \cdot 2^2}{4} = 15,64 \text{ m}^2$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 3,14 \cdot 18000}{15,64} = 15,18 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 5 \right)^{-0,06} = 0,91$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,91 \cdot 0,0541 \cdot 15,18 = 0,75 \text{ kW/m}^2$$

- **Desplazamiento de la llama**

El desplazamiento de la llama se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\frac{D'}{D} = 1,5 \cdot \left( \frac{u_w^2}{g \cdot D} \right)^{0,069} = 1,5 \cdot \left( \frac{4,5^2}{9,81 \cdot 2} \right)^{0,069} = 1,50 \text{ m}$$

- **Vulnerabilidad a la radiación térmica**

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 750^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 45 \cdot 750^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 750^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 45 \cdot 750^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

A continuación se presentan los cálculos para un contenedor de carga lateral de inyección de 3200 L asumiendo que el incendio tiene forma de paralelepípedo para diferentes tiempos y distancias de exposición.

Tal y como se ha calculado anteriormente la potencia emisiva de este depósito es:

$$E = 27,44 \text{ kW/m}^2$$

**1 m de distancia:**

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,05}{1,76} = 1,16 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{1}{1,76} = 0,57$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 7 y 8 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,0902^2 + 0,1059^2} = 0,16$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 1 \right)^{-0,06} = 0,99$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,99 \cdot 0,16 \cdot 27,44 = 4,35 \text{ kW/m}^2$$

Exposición de 60 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 60 \cdot 4350^{\frac{4}{3}} \right) = 6,25 \rightarrow 89\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 60 \cdot 4350^{\frac{4}{3}} \right) = 2,94 \rightarrow 2\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(60 \cdot 4350^{\frac{4}{3}}\right) = 2,70 \rightarrow 1\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(60 \cdot 4350^{\frac{4}{3}}\right) = 1,85 \rightarrow 0\%$$

Exposición de 120 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(120 \cdot 4350^{\frac{4}{3}}\right) = 8,34 \rightarrow 100\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(120 \cdot 4350^{\frac{4}{3}}\right) = 5,03 \rightarrow 51\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 4350^{\frac{4}{3}}\right) = 4,47 \rightarrow 30\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 4350^{\frac{4}{3}}\right) = 3,62 \rightarrow 9\%$$

Exposición de 180 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 4350^{\frac{4}{3}}\right) = 9,56 \rightarrow 100\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 4350^{\frac{4}{3}}\right) = 6,25 \rightarrow 89\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 4350^{\frac{4}{3}}\right) = 5,51 \rightarrow 70\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 4350^{\frac{4}{3}}\right) = 4,66 \rightarrow 37\%$$

**2 m de distancia:**

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,05}{1,76} = 1,16 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{2}{1,76} = 1,14$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 7 y 8 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,1385^2 + 0,0557^2} = 0,15$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 2 \right)^{-0,06} = 0,96$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,96 \cdot 0,15 \cdot 27,44 = 3,95 \text{ kW/m}^2$$

Exposición de 60 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 60 \cdot 3950^{\frac{4}{3}} \right) = 5,86 \rightarrow 80\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 60 \cdot 3950^{\frac{4}{3}} \right) = 2,55 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 60 \cdot 3950^{\frac{4}{3}} \right) = 2,37 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 60 \cdot 3950^{\frac{4}{3}} \right) = 1,52 \rightarrow 0\%$$



Exposición de 120 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(120 \cdot 3950^{\frac{4}{3}}\right) = 7,95 \rightarrow 99,8\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(120 \cdot 3950^{\frac{4}{3}}\right) = 4,62 \rightarrow 35\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 3950^{\frac{4}{3}}\right) = 4,14 \rightarrow 20\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 3950^{\frac{4}{3}}\right) = 3,29 \rightarrow 4\%$$

Exposición de 180 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 3950^{\frac{4}{3}}\right) = 9,18 \rightarrow 100\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 3950^{\frac{4}{3}}\right) = 5,87 \rightarrow 81\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 3950^{\frac{4}{3}}\right) = 5,18 \rightarrow 57\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 3950^{\frac{4}{3}}\right) = 4,33 \rightarrow 25\%$$

**3 m de distancia:**

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,05}{1,76} = 1,16 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{3}{1,76} = 1,70$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 7 y 8 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,1385^2 + 0,0265^2} = 0,14$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 3 \right)^{-0,06} = 0,93$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,93 \cdot 0,14 \cdot 27,44 = 3,57 \text{ kW/m}^2$$

Exposición de 60 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 60 \cdot 3570^{\frac{4}{3}} \right) = 5,45 \rightarrow 67\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 60 \cdot 3570^{\frac{4}{3}} \right) = 2,14 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 60 \cdot 3570^{\frac{4}{3}} \right) = 2,02 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 60 \cdot 3570^{\frac{4}{3}} \right) = 1,17 \rightarrow 0\%$$

Exposición de 120 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 120 \cdot 3570^{\frac{4}{3}} \right) = 7,55 \rightarrow 99,5\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(120 \cdot 3570^{\frac{4}{3}}\right) = 4,24 \rightarrow 22\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 3570^{\frac{4}{3}}\right) = 3,80 \rightarrow 13\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 3570^{\frac{4}{3}}\right) = 2,95 \rightarrow 2\%$$

Exposición de 180 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 3570^{\frac{4}{3}}\right) = 8,77 \rightarrow 100\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 3570^{\frac{4}{3}}\right) = 5,46 \rightarrow 68\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 3570^{\frac{4}{3}}\right) = 4,84 \rightarrow 44\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 3570^{\frac{4}{3}}\right) = 3,99 \rightarrow 15\%$$

#### **4 m de distancia:**

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,05}{1,76} = 1,16 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{3}{1,76} = 2,27$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 7 y 8 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,1385^2 + 0,0139^2} = 0,13$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0.06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 4 \right)^{-0.06} = 0,92$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,92 \cdot 0,13 \cdot 27,44 = 3,28 \text{ kW/m}^2$$

Exposición de 60 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 60 \cdot 3280^{\frac{4}{3}} \right) = 5,11 \rightarrow 54\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 60 \cdot 3280^{\frac{4}{3}} \right) = 1,80 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 60 \cdot 3280^{\frac{4}{3}} \right) = 1,73 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 60 \cdot 3280^{\frac{4}{3}} \right) = 0,88 \rightarrow 0\%$$

Exposición de 120 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 120 \cdot 3280^{\frac{4}{3}} \right) = 7,20 \rightarrow 99\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 120 \cdot 3280^{\frac{4}{3}} \right) = 3,89 \rightarrow 13\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 120 \cdot 3280^{\frac{4}{3}} \right) = 3,51 \rightarrow 7\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 3280^{\frac{4}{3}}\right) = 2,66 \rightarrow 1\%$$

Exposición de 180 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 3280^{\frac{4}{3}}\right) = 8,43 \rightarrow 100\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 3280^{\frac{4}{3}}\right) = 5,12 \rightarrow 55\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 3280^{\frac{4}{3}}\right) = 4,55 \rightarrow 33\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 3280^{\frac{4}{3}}\right) = 3,70 \rightarrow 10\%$$

## Anexo III

### 1. Contenedor con RSU

#### 1 m de distancia

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,05}{1,76} = 1,16 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{1}{1,76} = 0,57$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 7 y 8 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,0902^2 + 0,1059^2} = 0,16$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 2,67 \cdot 11600}{18,80} = 6,92 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 1 \right)^{-0,06} = 0,99$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,99 \cdot 0,16 \cdot 6,92 = 1,09 \text{ kW/m}^2$$

Exposición de 60 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 60 \cdot 1090^{\frac{4}{3}} \right) = 0,68 \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 60 \cdot 1090^{\frac{4}{3}} \right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(60 \cdot 1090^{\frac{4}{3}}\right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(60 \cdot 1090^{\frac{4}{3}}\right) = \rightarrow 0\%$$

Exposición de 120 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(120 \cdot 1090^{\frac{4}{3}}\right) = 2,77 \rightarrow 1\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(120 \cdot 1090^{\frac{4}{3}}\right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 1090^{\frac{4}{3}}\right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 1090^{\frac{4}{3}}\right) = \rightarrow 0\%$$

Exposición de 180 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 1090^{\frac{4}{3}}\right) = 3,99 \rightarrow 15\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 1090^{\frac{4}{3}}\right) = 0,68 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 1090^{\frac{4}{3}}\right) = 0,50 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 1090^{\frac{4}{3}}\right) = \rightarrow 0\%$$

Exposición de 240 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(240 \cdot 1090^{\frac{4}{3}}\right) = 4,86 \rightarrow 46\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(240 \cdot 1090^{\frac{4}{3}}\right) = 1,55 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(240 \cdot 1090^{\frac{4}{3}}\right) = 1,40 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(240 \cdot 1090^{\frac{4}{3}}\right) = 0,67 \rightarrow 0\%$$

## 2 m de distancia

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,05}{1,76} = 1,16 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{2}{1,76} = 1,14$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 7 y 8 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,1385^2 + 0,0557^2} = 0,15$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 2,67 \cdot 11600}{18,80} = 6,92 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left(\frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x\right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left(\frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 2\right)^{-0,06} = 0,96$$



A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,96 \cdot 0,15 \cdot 6,92 = 0,996 \text{ kW/m}^2$$

Exposición de 60 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(60 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 0,32 \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(60 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(60 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(60 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

Exposición de 120 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(120 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 2,41 \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(120 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

Exposición de 180 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 3,63 \rightarrow 9\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 0,32 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 0,25 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

Exposición de 240 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(240 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 4,50 \rightarrow 31\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(240 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 1,19 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(240 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 1,14 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(240 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 0,36 \rightarrow 0\%$$

### 3 m de distancia

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,05}{1,76} = 1,16 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{3}{1,76} = 1,70$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 7 y 8 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,1385^2 + 0,0265^2} = 0,14$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 2,67 \cdot 11600}{18,80} = 6,92 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 3 \right)^{-0,06} = 0,93$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,93 \cdot 0,14 \cdot 6,92 = 0,901 \text{ kW/m}^2$$

Exposición de 60 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 60 \cdot 901^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 60 \cdot 901^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 60 \cdot 901^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 60 \cdot 901^{\frac{4}{3}} \right) = \rightarrow 0\%$$

Exposición de 120 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 120 \cdot 901^{\frac{4}{3}} \right) = 2,01 \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(120 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = \rightarrow 0\%$$

Exposición de 180 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = 3,23 \rightarrow 4\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = \rightarrow 0\%$$

Exposición de 240 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(240 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = 4,10 \rightarrow 19\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(240 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = 0,79 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(240 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = 0,70 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(240 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = 0,02 \rightarrow 0\%$$

## 2. Contenedor con papel y cartón

### 1 m de distancia

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,05}{1,76} = 1,16 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{1}{1,76} = 0,57$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 7 y 8 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,0902^2 + 0,1059^2} = 0,16$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 2,67 \cdot 11600}{18,80} = 6,92 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left(\frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x\right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left(\frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 1\right)^{-0,06} = 0,99$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,99 \cdot 0,16 \cdot 6,92 = 1,10 \text{ kW/m}^2$$

Exposición de 60 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(60 \cdot 1100^{\frac{4}{3}}\right) = 0,72 \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(60 \cdot 1100^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(60 \cdot 1100^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(60 \cdot 1100^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

Exposición de 120 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(120 \cdot 1100^{\frac{4}{3}}\right) = 2,81 \rightarrow 1\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(120 \cdot 1100^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 1100^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 1100^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

Exposición de 180 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 1100^{\frac{4}{3}}\right) = 4,03 \rightarrow 7\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 1100^{\frac{4}{3}}\right) = 0,72 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 1100^{\frac{4}{3}}\right) = 0,60 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 1100^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

Exposición de 240 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 240 \cdot 1100^{\frac{4}{3}} \right) = 4,90 \rightarrow 46\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 240 \cdot 1100^{\frac{4}{3}} \right) = 1,59 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 240 \cdot 1100^{\frac{4}{3}} \right) = 1,50 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 240 \cdot 1100^{\frac{4}{3}} \right) = 0,70 \rightarrow 0\%$$

## 2 m de distancia

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,05}{1,76} = 1,16 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{2}{1,76} = 1,14$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 7 y 8 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,1385^2 + 0,0557^2} = 0,15$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 2,67 \cdot 11600}{18,80} = 6,92 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 2 \right)^{-0,06} = 0,96$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,96 \cdot 0,15 \cdot 6,92 = 0,996 \text{ kW/m}^2$$

Exposición de 60 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(60 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 0,31 \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(60 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(60 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(60 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

Exposición de 120 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(120 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 2,41 \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(120 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

Exposición de 180 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 3,63 \rightarrow 9\%$$



- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 0,32 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 0,30 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

Exposición de 240 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(240 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 4,50 \rightarrow 31\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(240 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 1,19 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(240 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 1,18 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(240 \cdot 996^{\frac{4}{3}}\right) = 0,36 \rightarrow 0\%$$

### 3 m de distancia

- **Intensidad de la radiación**

Para el cálculo del factor de vista es necesario considerar las medidas del depósito que se está analizando:

$$\frac{L}{R} = \frac{2,05}{1,76} = 1,16 \quad y \quad \frac{x}{R} = \frac{3}{1,76} = 1,70$$

Con los datos anteriores y haciendo uso de las tablas 7 y 8 se obtiene:

$$F_{m\acute{a}x} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{0,1385^2 + 0,0265^2} = 0,14$$

La potencia emisiva de la llama se calcula de la siguiente manera:

$$E = \frac{\eta_{rad} \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{A} = \frac{0,3 \cdot 0,014 \cdot 2,67 \cdot 11600}{18,80} = 6,92 \text{ kW/m}^2$$

El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = 1,53 \cdot \left( \frac{H_R \cdot P_{sat}}{100} \cdot x \right)^{-0,06} = 1,53 \cdot \left( \frac{50 \cdot 2500}{100} \cdot 3 \right)^{-0,06} = 0,93$$

A partir del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y la potencia emisiva ya se puede calcular la intensidad de la radiación en kW/m<sup>2</sup>.

$$I_{m\acute{a}x} = \tau \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot E = 0,93 \cdot 0,14 \cdot 6,92 = 0,901 \text{ kW/m}^2$$

Exposición de 60 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 60 \cdot 901^{\frac{4}{3}} \right) = - \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 60 \cdot 901^{\frac{4}{3}} \right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln \left( 60 \cdot 901^{\frac{4}{3}} \right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \left( 60 \cdot 901^{\frac{4}{3}} \right) = - \rightarrow 0\%$$

Exposición de 120 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln \left( 120 \cdot 901^{\frac{4}{3}} \right) = 2,00 \rightarrow 0\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( t \cdot I^{\frac{4}{3}} \right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln \left( 120 \cdot 901^{\frac{4}{3}} \right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(120 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

Exposición de 180 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = 3,23 \rightarrow 4\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(180 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(180 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = - \rightarrow 0\%$$

Exposición de 240 segundos:

- Quemaduras de primer grado

$$Y = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln\left(240 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = 4,10 \rightarrow 9\%$$

- Quemaduras de segundo grado

$$Y = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -43,14 + 3,0186 \cdot \ln\left(240 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = 0,79 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad sin protección

$$Y = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -36,38 + 2,56 \cdot \ln\left(240 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = 0,70 \rightarrow 0\%$$

- Letalidad con protección

$$Y = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(t \cdot I^{\frac{4}{3}}\right) = -37,23 + 2,56 \cdot \ln\left(240 \cdot 901^{\frac{4}{3}}\right) = 0,02 \rightarrow 0\%$$

## Anexo IV

Pictogramas de las fichas de seguridad del INSHT:

<b>MONÓXIDO DE CARBONO</b>		<b>ICSC: 0023</b>	
		<b>Abril 2007</b>	
Óxido de carbono		Óxido carbónico	
<b>CAS:</b>	630-08-0	<b>CO</b>	
<b>RTECS:</b>	FG3500000	<b>Masa molecular: 28</b>	
<b>NU:</b>	1016		
<b>CE Índice Anexo I:</b>	006-001-00-2		
<b>CE / EINECS:</b>	211-128-3		

Figura 79. Ficha Internacional de Seguridad Química del CO.

<b>DIÓXIDO DE CARBONO</b>		<b>ICSC: 0021</b>	
		<b>Octubre 2006</b>	
Gas ácido carbónico		Anhídrido carbónico	
<b>CAS:</b>	124-38-9	<b>CO<sub>2</sub></b>	
<b>RTECS:</b>	FF6400000	<b>Masa molecular: 44,0</b>	
<b>NU:</b>	1013		
<b>CE / EINECS:</b>	204-696-9		

Figura 80. Ficha Internacional de Seguridad Química del CO<sub>2</sub>.

<b>CLORURO DE HIDRÓGENO</b>		<b>ICSC: 0163</b>	
		<b>Abril 2000</b>	
Cloruro de hidrógeno, anhidro		Ácido clorhídrico, anhidro	
<b>CAS:</b>	7647-01-0	<b>HCl</b>	
<b>RTECS:</b>	MW4025000	<b>Masa molecular: 36.5</b>	
<b>NU:</b>	1050		
<b>CE Índice Anexo I:</b>	017-002-00-2		
<b>CE / EINECS:</b>	231-595-7		

Figura 54. Ficha Internacional de Seguridad Química del HCl.

<b>SULFURO DE HIDRÓGENO</b>		<b>ICSC: 0165</b>	
		<b>Abril 2000</b>	
<b>CAS:</b>	7783-06-4	<b>Hidruro de azufre</b>	
<b>RTECS:</b>	MX1225000	<b>Ácido sulfhídrico</b>	
<b>NU:</b>	1053	<b>H<sub>2</sub>S</b>	
<b>CE Índice Anexo I:</b>	016-001-00-4	<b>Masa molecular: 34.1</b>	
<b>CE / EINECS:</b>	231-977-3		

Figura 82. Ficha Internacional de Seguridad Química del H<sub>2</sub>S.

DIÓXIDO DE AZUFRE			ICSC: 0074
			Octubre 2006
CAS:	7446-09-5	Óxido sulfuroso	
RTECS:	WS4550000	Anhidrido sulfuroso	
NU:	1079	Óxido de azufre	
CE Índice Anexo I:	016-011-00-9	SO <sub>2</sub>	
CE / EINECS:	231-195-2	Masa molecular: 64,1	

Figura 55. Ficha Internacional de Seguridad Química del SO<sub>2</sub>.

DIÓXIDO DE NITRÓGENO			ICSC: 0930
			Mayo 2003
CAS:	10102-44-0	Peróxido de nitrógeno	
RTECS:	QW9800000	NO <sub>2</sub>	
NU:	1067	Masa molecular: 46.01	
CE Índice Anexo I:	007-002-00-0		
CE / EINECS:	233-272-6		

Figura 84. Ficha Internacional de Seguridad Química del NO<sub>2</sub>.

ACROLEÍNA			ICSC: 0090
			Marzo 2001
CAS:	107-02-8	2-Propenal	
RTECS:	AS1050000	Acril aldehido	
NU:	1092	2-Propen-1-al	
CE Índice Anexo I:	605-008-00-3	CH <sub>2</sub> =CHCHO	
CE / EINECS:	203-453-4	Masa molecular: 56.06	

Figura 85. Ficha Internacional de Seguridad Química del C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O.

FOSGENO			ICSC: 0007
			Octubre 2002
CAS:	75-44-5	Cloruro de carbonilo	
RTECS:	SY5600000	Cloruro de cloroformilo	
NU:	1076	COCl <sub>2</sub>	
CE Índice Anexo I:	006-002-00-8		
CE / EINECS:	200-870-3	Masa molecular: 98.9	

Figura 86. Ficha Internacional de Seguridad Química del COCl<sub>2</sub>.

AMONIACO (ANHIDRO)		ICSC: 0414
<p>AMONIACO (ANHIDRO) Trihidruro de nitrógeno NH<sub>3</sub> Masa molecular: 17.03</p>		
<p>Nº CAS 7664-41-7 Nº RTECS BO0875000 Nº ICSC 0414 Nº NU 1005 Nº CE 007-001-00-5</p>		

Figura 56. Ficha Internacional de Seguridad Química del NH<sub>3</sub>.

**CIANURO DE HIDROGENO**

ICSC: 0492

Acido cianhídrico  
Acido prúsico  
(licuado)  
HCN  
Masa molecular: 27.03

Nº ICSC 0492  
Nº CAS 74-90-8  
Nº RTECS MW6825000  
Nº NU 1051  
Nº CE 006-006-00-X

MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES ESPAÑA

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Figura 89. Ficha Internacional de Seguridad Química del HCN.