

DISEÑO Y COMPARACIÓN DE DOS INSTALACIONES FIJAS CONTRA INCENDIOS EN UN BUQUE PORTACONTENEDORES



AUTORAS: ELISABETH CARBONELL ALFÉREZ
LAURA NAVARRO MORENO

TUTOR: SANTIAGO ORDÁS JIMÉNEZ

TITULACIÓN: DIPLOMATURA EN MÁQUINAS NAVALES

ABRIL 2014, BARCELONA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 BUQUE VERÓNICA B	7
1.2 COMBUSTIÓN	11
1.3 SISTEMAS DE DETECCIÓN DE INCENDIO Y ALARMA	13
1.4 SISTEMAS FIJOS CONTRA INCENDIOS	15
1.4.1 SISTEMAS FIJOS DE AGUA	15
1.4.2 SISTEMAS FIJOS DE ESPUMA	16
1.4.3 SISTEMAS FIJOS DE POLVO SECO.....	16
1.4.4 SISTEMAS FIJOS POR CO ₂	17
1.4.5 SISTEMAS FIJOS POR HALONES.....	17
1.4.6 SISTEMAS FIJOS POR SUSTITUTOS DE HALONES	17
1.5 AGENTES EXTINTORES	18
2. SISTEMAS FIJOS DE EXTINCIÓN INSTALADOS A BORDO DEL VERÓNICA B	23
2.1 HIDRANTES Y MANGUERAS	23
2.2 BOMBAS CONTRA INCENDIOS	23
2.3 ROCIADORES DE AGUA	23
2.4 SISTEMA DE EXTINCIÓN CON CO₂	24
3. AGENTES EXTINTORES ELEGIDOS PARA EL ESTUDIO	27
3.1 FM-200	28
3.2 FE-13	30
4. NORMATIVA	32
5. DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FIJA CONTRA INCENDIOS	35
5.1 VOLUMEN PROTEGIDO	35
5.2 RED DE TUBERÍAS	41
5.3 LONGITUD EQUIVALENTE DE LA RED DE TUBERÍAS	47
5.4 DETECTORES	49
5.5 PULSADORES DE ALARMA	51
6. INSTALACIÓN DE FM-200	52
6.1 CÁLCULO CANTIDAD DE AGENTE EXTINTOR	52
6.2 DIÁMETRO DE TUBERÍAS	54
6.3 LONGITUD EQUIVALENTE	62

6.4	PRESIONES.....	65
6.5	DIFUSORES DE DESCARGA.....	69
6.6	PRECIO	73
7.	INSTALACIÓN DE FE-13	74
7.1	CÁLCULO CANTIDAD DE AGENTE EXTINTOR.....	74
7.2	DIÁMETROS TUBERÍAS	76
7.3	LONGITUD EQUIVALENTE	84
7.4	PRESIONES	87
7.5	DIFUSORES DE DESCARGA.....	92
7.6	PRECIO	96
8.	COMPARACIÓN DE AMBAS INSTALACIONES	98
9.	CONCLUSIONES	100
10.	ANEXOS	102
10.1	ANEXO 1: Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS)	102
10.2	ANEXO 2: UNE-EN 15004-1:2008	104
10.3	ANEXO 3: PLANOS VERÓNICA B	106
10.4	ANEXO 4: EXTRACTO UNE 15004-5:2009.....	109
10.5	ANEXO 5: EXTRACTO EN-15004-6:2008	114
10.6	ANEXO 6: PRECIOS COMPONENTES DE LA RED DE TUBERÍAS... ..	118
11.	BIBLIOGRAFÍA	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Distribución de botellas de CO ₂	25
Tabla 2.	Nomenclatura del FM-200	28
Tabla 3.	Especificaciones del HFC 227ea	29
Tabla 4.	Propiedades físicas del HFC 227ea	29
Tabla 5.	Nomenclatura del FE-13	30
Tabla 6.	Especificaciones del HFC 23	31
Tabla 7.	Propiedades físicas del HFC 23	31
Tabla 8.	Volumen de los recintos a proteger	37
Tabla 9.	Volumen de las estructuras del Control de Máquinas	38
Tabla 10.	Volumen de las estructuras de la Sala de Máquinas	39
Tabla 11.	Volumen de las estructuras de la Bodega N°8	39
Tabla 12.	Listado de tramos de la red de tuberías	45
Tabla 13.	Longitud tramos de la red de tuberías	46
Tabla 14.	Accesorios de la red de tuberías	47
Tabla 15.	Área máxima de cobertura de los detectores	49
Tabla 16.	Cantidad de detectores de humo	49
Tabla 17.	Cantidad de detectores de calor	50
Tabla 18.	Cantidad de pulsadores de alarma	51
Tabla 19.	Cantidad de agente extintor para cada recinto	56
Tabla 20.	Caudal por recinto	57
Tabla 21.	Caudal por tramo	58
Tabla 22.	Área de la sección transversal por tramo	59
Tabla 23.	Diámetro de las tuberías	61
Tabla 24.	Codos y T's de la red contra incendios	63
Tabla 25.	Longitud equivalente de los tramos de la red contra incendios	64
Tabla 26.	Caudal y diámetro	66
Tabla 27.	Presión final en los tramos de la red contra incendios	68
Tabla 28.	Número de difusores	69
Tabla 29.	Factor de descarga por recintos	71
Tabla 30.	Caudal de los difusores	71
Tabla 31.	Diámetro de los difusores	72
Tabla 32.	Diámetro de los difusores	72
Tabla 33.	Precio instalación FM-200	73
Tabla 34.	Cantidad de agente extintor FE 13 para cada recinto	78
Tabla 35.	Caudal por recinto	79
Tabla 36.	Caudal por tramo	80
Tabla 37.	Área de la sección transversal por tramo	81
Tabla 38.	Diámetro de las tuberías	83
Tabla 39.	Codos y T's de la red contra incendios	85
Tabla 40.	Longitud equivalente de los tramos de la red CI	86
Tabla 41.	Caudal y diámetro	88
Tabla 42.	Presión final en los tramos de la red contra incendios	91
Tabla 43.	Número de difusores	92
Tabla 44.	Factor de descarga por recintos	94

Tabla 45.	Caudal de los difusores	94
Tabla 46.	Diámetro de los difusores	95
Tabla 47.	Diámetro de los difusores	95
Tabla 48.	Precio instalación FE13	96
Tabla 49.	Comparativa medioambiental	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración.1	Vista de la caldera y de uno de los motores auxiliares	8
Ilustración.2	Motor principal	9
Ilustración.3	Triángulo de fuego	11
Ilustración.4	Tetraedro del fuego	12
Ilustración.5	Válvulas de accionamiento	25
Ilustración.6	Válvulas de accionamiento del sistema de CO ₂	26
Ilustración.7	Almacenamiento de botellas de CO ₂	26
Ilustración.8	Planta de la Cubierta Principal del Verónica B	42
Ilustración.9	Perfil zona de popa del Verónica B	43
Ilustración.10	Planta de las Bodegas del Verónica B	43
Ilustración.11	Planta de la Cubierta Sala de Máquinas	44
Ilustración.12	Longitud equivalente para Codos y T's	62
Ilustración.13	Presión tramos de la red contra incendios	67
Ilustración.14	Corrección de presión por elevación	68
Ilustración.15	Factor de descarga en función de la presión	70
Ilustración.16	Longitud equivalente para Codos y T's	84
Ilustración.17	Presión tramos de la red contra incendios	89
Ilustración.18	Corrección de presión por elevación	90
Ilustración.19	Factor de descarga en función de la presión	93

PRÓLOGO

La finalidad de realizar este proyecto se basa en el estudio de posibles alternativas a los sistemas fijos contra incendios más utilizados a bordo de los buques.

Para ello, se ha utilizado como referencia un buque portacontenedores y se ha realizado el análisis de sus instalaciones fijas destinadas a combatir situaciones de emergencia originadas por el fuego.

La motivación para realizar dicho proyecto ha sido la repercusión medioambiental que supone el uso de ciertos agentes extintores.

Este trabajo consta principalmente de 4 partes:

- La primera parte se basa en el estudio de un sistema fijo contra incendios de CO₂ y obteniendo las características principales tanto de la instalación del buque como del propio agente extintor.
- La segunda parte se basa en plantear dos alternativas tanto a nivel del sistema como la elección de dos agentes extintores distintos al utilizado actualmente a bordo del buque.
- La tercera parte se basa en realizar una comparativa en diferentes ámbitos, en concreto, se realizará una comparación técnica, económica y medioambiental.
- Finalmente, se analizará todos los datos obtenidos para comparar ambos agentes extintores y extraer las ventajas e inconvenientes del uso de dichos agentes a bordo de los buques.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 BUQUE VERÓNICA B

El buque utilizado para desarrollar este proyecto ha sido el portacontenedores Verónica B, perteneciente a la flota de la compañía Boluda Corporación Marítima.

BOLUDA CORPORACIÓN MARÍTIMA

Fundada en 1920, es un grupo empresarial líder en el sector marítimo a nivel internacional.

En 1997, el grupo Boluda adquirió la Naviera Pinillos, para seguir con la flota que tiene el núcleo de negocios en el transporte entre Península y Canarias.

La empresa dispone de una flota variada, tanto portacontenedores, fluviales, petroleros, RoLos, lanchas y remolcadores. En estos últimos centra su actividad principal ya que cuenta con una flota de 209 remolcadores, lo que permite que la compañía tenga una posición líder en este sector a nivel nacional e internacional.

Boluda Lines es la división naviera que centra su objeto de negocio en el transporte de mercancías tanto secas como refrigeradas.

VERÓNICA B

Este buque propiedad de la Compañía Trasatlántica Española e inscrito en la matrícula naval de Santa Cruz de Tenerife, fue construido en los astilleros de Hijos de J. Barreras, en Vigo.

Entró en servicio en el año 2007 para el Grupo Boluda.

El Verónica B, es un buque portacontenedores. Su ruta de comercio se establece entre los puertos de:

Barcelona-Valencia-Alicante-Las Palmas de Gran Canaria-Santa Cruz de Tenerife-Santa Cruz de la Palma-Alicante-Barcelona

El tiempo estimado para la ruta completa es de 14 días.

Es un buque de estructura soldada completamente con doble fondo. Dispone de ocho bodegas con una capacidad para cinco alturas de contenedores; si se cargan en sentido longitudinal pueden haber

contenedores de 40 pies o dos de 20pies (excepto en la bodega de proa que sólo es apta para contenedores de 20 pies).

Sobre las brazolas de las escotillas, existen tapas dimensionadas para soportar el peso de entre cuatro y cinco alturas de contenedores.

El Verónica B tiene 160 metros de eslora y 25 metros de manga y se distribuye en un total de 9 cubiertas.

La sala de máquinas se divide en tres cubiertas: la cubierta inferior, la cubierta de plataforma y la cubierta del doble fondo.

En la cubierta inferior de la sala de máquinas está destinada al control de máquinas, a los 3 motores auxiliares, a la caldera, a la sala de depuradoras y al taller.



Ilustración 1. Vista de la caldera y de uno de los motores auxiliares.

En la cubierta de plataforma está instalado el motor principal del buque, la sala de intercambiadores de calor, compresores de aire, botellas de aire comprimido, bombas y otros equipos secundarios. Desde dicha cubierta se tiene acceso a la parte superior del motor para las operaciones de mantenimiento.



Ilustración 2. Motor principal

En la cubierta del doble fondo se tiene acceso al motor principal a los cárteres, al plano de válvulas para realizar los trasiegos de combustible (FO y GO), la separadora de sentinas, la reductora, así como el acceso a la reductora y al eje del buque.

En la cubierta principal entre otros espacios destinados a la tripulación, se encuentra el motor de emergencia y el incinerador.

Es un buque propulsado por un motor principal de cuatro tiempos, un Wärtsilä 9L46; es un motor de combustión interna alimentado por diesel, sobrealimentado, refrigerado y de inyección directa. Tiene 9 cilindros en línea.

Este motor proporciona una potencia útil de 10395 kW; está situado en la zona central de la sala de máquinas, estibado en el piso inferior.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL BUQUE

NOMBRE: VERÓNICA B
PROPIETARIO: CONFIDENCE TRADE, S.L.
FLETADOR: NAVIERA ROCÍO, S.L.
DISTINTIVO DE LLAMADA: CQNP
BANDERA: PORTUGAL
PUERTO DE REGISTRO: MADEIRA
ESLORA TOTAL: 159.8 M
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES: 143.0 M
MANGA: 24.8 M
PUNTAL: 14.0 M
CALADO DE VERANO: 9.50 M
CALADO AÉREO: 42.5 M DESDE LA QUILLA
DESPLAZAMIENTO: 24,498.90 TM
PESO MUERTO: 18,213.68 TM
T X CM: 33 TM
TRB: 14,016.0 TM
TRN: 6,285.20 TM
DESPLAZAMIENTO EN ROSCA: 6,285.22 TM
VELOCIDAD: 18 NUDOS
ANCLA DE BABOR: 10 GRILLETES
ANCLA DE ESTRIBOR: 10 GRILLETES
HÉLICE DE PROA: 2 X 650 HP CADA UNA
MOTOR PRINCIPAL: WARTSILA 10,395 KW
NÚMERO IMO: 9348625
PUESTA DE QUILLA: 17/02/2006
ENTREGA DE BUQUE: 27/07/2007
Nº MÁXIMO DE TRIPULANTES: 20
TRIPULACIÓN MÍNIMA: 12
CAPACIDAD: 1256 TEUS
CLASIFICACIÓN: GERMANISCHE LLOYDS + 100 A5 IW C2P58,
CONTAINER SHIP, +MC AUT

1.2 COMBUSTIÓN

En nuestro proyecto estudiaremos una instalación fija contra incendios de un buque portacontenedores; para entender la importancia de dicha instalación primero haremos referencia a la combustión y al fuego.

La combustión es una reacción química exotérmica entre un combustible y un comburente.

El comburente más utilizado es el aire, ya que éste está formado por un 21% de O_2 .

Los combustibles se pueden clasificar en líquidos, sólidos y gaseosos. Hay que tener en cuenta que el comburente siempre reacciona con el combustible en fase gaseosa, por lo tanto, si se presenta en estado sólido o líquido debe haber un aporte energético tal para que se produzca una descomposición química de dicho combustible y así por efecto del calor, emitirían gases combustibles.

Para que se cree una combustión es necesario un foco de ignición, así se observa en la teoría del triángulo del fuego los tres factores necesarios para la producción de un fuego.

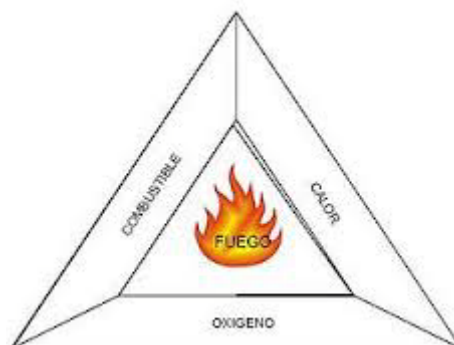


Ilustración 3. Triángulo de fuego

Una vez producida una combustión hay que tener en cuenta que tiene un proceso de continuidad en el tiempo. Conociendo el tetraedro del fuego, se sabe que existen cuatro componentes necesarios para la existencia de una combustión.



Ilustración 4. Tetraedro del fuego

Combustible: es aquella sustancia capaz de combinarse con oxígeno de una manera rápida y exotérmica.

Oxígeno: comburente, es la sustancia que permite la iniciación de la combustión.

Calor: energía necesaria para que se pueda producir el fuego. Es un proceso térmico.

Reacción en cadena: es la responsable de la continuidad de la combustión porque aporta energía a la mezcla generando radicales libres que son los culpables de las reacciones químicas que se producen continuamente durante la combustión.

En el momento que uno de estos componentes es eliminado, la combustión se extingue.

Se debe conocer la manera de extinguir el fuego puesto que una combustión no deseada y descontrolada, es un incendio y sus efectos son destructivos con el entorno en el que se produzca.

Hay que tener en cuenta, que toda combustión se propagará sin importar la dirección siempre y cuando tenga presente los tres elementos necesarios (el combustible, el comburente y la energía de activación).

Existen tres diferentes maneras de propagación del fuego y pueden ser por:

- **Conducción:** comunicación directa de la energía interna producida por las colisiones entre sus moléculas, a través de una sustancia. Es la manera más simple.
- **Convección:** se transporta el calor por medio de un fluido, en el que se producen corrientes debido a las diferencias de densidad.
- **Radiación:** emisiones mediante radiaciones electromagnéticas.

1.3 SISTEMAS DE DETECCIÓN DE INCENDIO Y ALARMA

Es el sistema que permite anticiparse a la evolución del fuego. Gracias a este sistema se permite la actuación sobre el fuego en los primeros instantes, evitando que alcance tal magnitud como para no poder combatirlo.

La detección del fuego se divide en dos categorías:

- ✓ *Detección humana:* se basa en la detección visual u olfativa del fuego sin intervención de medios mecánicos. Es un método poco fiable ya que presenta una serie de inconvenientes como por ejemplo que sólo se detectan fuegos que se produzcan dentro de la ronda de vigilancia o bien la pérdida de tiempo entre que la persona que lo ha localizado da la voz de alarma y se actúa sobre el fuego. Se debe tener en cuenta que para que un fuego se detecte por medio de los sentidos, es probable que ya esté en avanzada evolución.
- ✓ *Detección automática:* sistemas fijos de vigilancia permanente. Su sistema de alarma es inmediato y puede accionar algún sistema de extinción. Estos sistemas de detección consta de dos elementos, las fuentes de alimentación (alimentan la energía de funcionamiento del sistema) y la unidad de control (unidad que facilita la información tanto de las alarmas, como de fallos, de accionamiento de sistemas de extinción o incluso el lugar de procedencia).

Cuando la detección del fuego se produce de manera automática es gracias a los diferentes detectores que existen.

- ✓ *Detectores térmicos:* Actúan por sensibilidad al calor del fuego. Existen varios tipos :
 - Detectores estáticos: actúan al alcanzar una temperatura establecida. La temperatura que emite el fuego se transfiere a la atmósfera, lo que dificulta la detección y la retrasa.
 - Detectores termovelocimétricos: actúan detectando el incremento de temperatura a una velocidad determinada. Se puede regular la sensibilidad, permitiendo el uso en las zonas adecuadas. No se deben instalar en lugares expuestos a la radiación solar con gradientes superiores a la sensibilidad del detector.
- ✓ *Detectores de llama:* su funcionamiento se basa en la captación de radiaciones de luz en las bandas más extremas, infrarrojos y ultravioletas. La detección se basa en la visión del fuego, lo cual provoca falsas alarmas ya que cualquier llama, luz o reflejo activaría la alarma. Su utilización sólo está permitida si también se cuenta con sistemas de detección de humos y de calor, nunca como sistema de detección único.
- ✓ *Detectores de humo:* estos detectores captan y miden los humos de la combustión gracias a una aspiración constante del aire del espacio protegido. Existen dos tipos:
 - Detector óptico de humos: detecta los humos visibles de la combustión. Se activa cuando los humos pasan a una cámara de manera que modifica el equilibrio de una emisión fotoeléctrica. Cuando se crea una difusión considerable en ésta trayectoria se activa el sistema de alarma.
 - Detector iónico: detecta los humos invisibles, que son los que se desprenden en el inicio de la combustión. Su funcionamiento es captando aire del espacio protegido y pasándolo por una cámara ionizada donde se analizará la variación de tensión comparada con otra cámara estanca.

1.4 SISTEMAS FIJOS CONTRA INCENDIOS

Cuando se considere que existe peligro para las personas o para un compartimento, se instalan sistemas fijos para que actúen protegiendo el área permanentemente. Actúan en la fase inicial del fuego y controlan, reducen o extinguen el fuego por sí mismos.

Existen cuatro grupos de instalaciones fijas, dependiendo del agente extintor que se utilice.

1.4.1 SISTEMAS FIJOS DE AGUA

Estos sistemas son muy efectivos tanto en la extinción del fuego, como en el control de temperaturas protegiendo la resistencia estructural del buque o incluso en la protección de las personas en las cubiertas, en los pasillos o en las vías de evacuación.

Hay diversas clases de sistemas fijos por agua:

- *Sistema manual de rociadores abiertos*: adecuado para generar una acción refrigerante y establecer un control de temperatura. Crea un aislamiento del incendio y protege a las personas. Su acción refrigerante está indicada para salvar las superestructuras del calor radiante del fuego.
- *Sistema automático de rociadores abiertos*: es similar al anterior, pero su accionamiento está relacionado con el sistema detector de la zona a proteger, que es el encargado de abrir las válvulas de control que dan paso al agua. El propio sistema de detección activa las señales de alarma y activa el funcionamiento de la bomba.
- *Sistemas de rociadores automáticos de tubería mojada*: utilizan rociadores cerrados automáticos que sirven de detectores de incendio y a la vez activan el sistema. La utilización de agua viene dada por la necesidad de evitar obstrucciones en las tuberías ya que están continuamente inundadas. Cualquier tipo de incrustación provocaría un mal funcionamiento de los rociadores.
- *Sistemas de rociadores automáticos de tubería seca*: en este caso las tuberías en lugar de estar constantemente inundadas,

contienen aire o nitrógeno a presión. Cuando se produce la abertura del rociador, hay una caída de presión de manera que la presión del agua abra la válvula y se produzca la inundación de las tuberías. Sólo se descargará agua en los rociadores que hayan sido activados por la detección del fuego mediante la acción del calor.

Existen una gran variedad de rociadores, y principalmente se diferencian por el tipo de rociadores:

- Abiertos: utilizados en sistemas de tubería seca no automática para funciones de refrigeración. No detectan el fuego.
- Cerrados: es a la vez un elemento detector del fuego y elemento de disparo. Se utiliza en sistemas automáticos.

1.4.2 SISTEMAS FIJOS DE ESPUMA

Debe tener tal cantidad de espumógeno para producir un volumen de espuma cinco veces mayor que el volumen más grande de los espacios que haya que proteger. Se compone de cañones fijos y mangueras para lanzar espuma de una manera móvil, ya que existen espacios que no alcanzaría el cañón fijo.

1.4.3 SISTEMAS FIJOS DE POLVO SECO

Su uso no es frecuente, pero es recomendable para proteger la zona de carga de buques de productos químicos inflamables y gases licuados. Es apropiado para apagar fuegos en los que es imposible actuar con inundación de agua o inundación de gases; pueden usarse conjuntamente el sistema de agua con este sistema. Las unidades fijas están situadas a la intemperie por lo que debe tener un mantenimiento periódico.

Este sistema es propulsado por un gas inerte (normalmente N₂).

1.4.4 SISTEMAS FIJOS POR CO₂

Es un sistema contra incendios de inundación completa.

El CO₂ a presión atmosférica es incoloro, inodoro, no conduce la electricidad y se caracteriza por su rápida penetración. Se almacena en cilindros de alta presión.

Este sistema extingue el fuego por medios físicos; los mecanismos principales por los que actúa este sistema son reduciendo la concentración de oxígeno hasta un nivel por debajo del 15% (nivel en el que la mayoría de fuegos no pueden mantener la combustión) o bien, por enfriamiento y absorción de calor.

Para proteger de riesgos, se debe considerar el hecho de que la inhalación de CO₂ provoca asfixia.

1.4.5 SISTEMAS FIJOS POR HALONES

Son instalaciones similares a las del CO₂. Pero debido al alto nivel de toxicidad de los halones quedaron prohibidos así que se crearon los derivados halogenados que se comportan frente al fuego igual que los halones.

1.4.6 SISTEMAS FIJOS POR SUSTITUTOS DE HALONES

No dejan residuos y tienen las mismas características extintoras pero sin presentar los inconvenientes de los halones.

1.5 AGENTES EXTINTORES

Los agentes extintores son las sustancias que provocan la extinción del fuego al ser proyectadas hacia él. Dichos agentes actúan sobre uno o varios de los componentes del tetraedro del fuego.

Dependiendo del componente sobre el que actúe, se hablará de diferentes métodos de extinción.

- *Dilución*: elimina el combustible de las proximidades del incendio. Se consigue o bien, cortando el flujo a la zona del incendio o retirando el material combustible, o bien, diluyendo el combustible en una sustancia para que se mantenga fuera del rango de inflamabilidad.
- *Sofocación*: elimina el comburente del incendio, impidiendo que el combustible se pueda poner en contacto con la sustancia comburente. Se consigue mediante una barrera física, cerrando puertas y ventanas para impedir el acceso de oxígeno fresco en la zona del incendio o bien, disminuyendo la concentración de oxígeno desplazándolo para que la mezcla de combustible-comburente quede por encima del Límite Superior de Inflamabilidad (LSI).
- *Enfriamiento*: reduce la temperatura del combustible. Es necesaria una sustancia con una gran capacidad para absorber el calor.
- *Inhibición*: elimina los radicales libres, que son los responsables de los procesos químicos que se generan durante la combustión.

Para conocer la manera de extinguir el fuego se deben conocer los tipos de fuego que existen para así utilizar el agente extintor más apropiado.

La norma UNE-EN 2:1994 y UNE-EN 2:1994/A 1:2005, clasifica los fuegos en cinco clases:

- *Clase A*: combustiones con materiales sólidos, generalmente de origen orgánico, que arden formando brasas.
- *Clase B*: fuegos de líquidos o sólidos licuables.
- *Clase C*: Gases inflamables.

- *Clase D*: Metales combustibles y aquellos compuestos químicos reactivos ligeros.
- *Clase F*: Fuegos derivados de la utilización para cocinar en aparatos de cocina.

CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES EXTINTORES

Una vez clasificado el fuego, se realizará una clasificación de los agentes extintores.

a) LÍQUIDOS

- *Agua*

El agente extintor más abundante y antiguo es el agua. Actúa por enfriamiento, que al evaporarse absorbe parte de la energía que se desprende del fuego.

Para conseguir mayor eficacia se utiliza pulverizada ya que de esa manera se evapora más rápidamente.

Excelente para apagar fuegos de CLASE A. Su utilización no es apta para fuegos de líquidos con puntos de encendido por debajo de 37,8° C, a no ser que esté bien pulverizada, puesto que al ser más densa la mayoría de combustibles líquidos, estos flotarían sobre ella y seguirían emitiendo vapores inflamables.

A pesar de disponer de grandes ventajas, el agua también tiene limitaciones debido a sus propiedades físicas.

La conductividad eléctrica es una de ellas. Debido a las sales e impurezas que tiene normalmente el agua la convierten en conductora de electricidad, lo que genera un peligro en instalaciones eléctricas de alto voltaje; este peligro aumenta si la persona que aplica el agua se encuentra sobre un charco y tiene contacto con el circuito eléctrico ya que la descarga a tierra se producirá por medio de la persona y hay que tener en cuenta que las descargas que pasen de 20 mA pueden ser letales.

La temperatura de solidificación también es una limitación, puesto que el agua solidifica a 0°C y no podría utilizarse en sitios donde se pudieran alcanzar dicha temperatura porque las válvulas y las tuberías de conducción podrían obturarse y reventar.

- *Espuma*

La espuma se genera al introducir aire en una mezcla de espumógeno con agua, formando la mezcla espumante. Forman una masa de burbujas que es más ligera que algunos combustibles, haciendo que flote sobre ellos y produzcan una capa de material acuoso que desplaza el aire, enfrían e impide la emisión de vapores combustibles y así impide la propagación de la combustión.

La desventaja del uso de espuma como agente extintor, al igual que el agua, es la conductividad eléctrica.

b) SÓLIDOS:

- *Polvos*

Están formados por sales químicas de diferente composición que al combinarse con los elementos de la combustión, paraliza la reacción en cadena. Los polvos se clasifican en:

- *Polvo BC*: eficaz para fuegos de la clase B y de la clase C.
- *Polvo ABC*: eficaz para fuegos de la clase A, de la clase B y de la clase C.

Se suelen utilizar para la extinción de fuegos de líquidos inflamables. No son conductores de la electricidad así que pueden emplearse en equipos eléctricos de baja tensión cuando haya fuego ocasionado por líquidos inflamables.

Hay que tener en cuenta que no se deben aplicar polvos en instalaciones donde los contactos eléctricos sean delicados ya que las propiedades aislantes de los polvos pueden inutilizar los equipos.

Tampoco son aptos para sofocar fuegos que estén por debajo de la superficie.

c) GASEOSOS:

- CO_2

Es un gas inerte que se almacena a una elevada presión en estado líquido. En el momento de la descarga se solidifica parcialmente. Extingue el fuego por sofocación, desplazando al oxígeno del aire. No es conductor de la electricidad y produce un cierto enfriamiento.

La descarga del CO_2 , visualmente parece una nube blanca ya que hay finas partículas de hielo seco que se transportan con el vapor. El efecto de enfriamiento del hielo seco es bueno para reducir la temperatura después del incendio.

Es muy eficaz porque reduce el contenido de oxígeno de la atmósfera gracias a la sofocación lo que a su vez lo convierte en un inconveniente puesto que no está permitida su utilización en espacios ocupados por personas si no se garantiza la evacuación de estos antes de que se produzca la descarga.

No es un agente eficaz ante incendios producidos por productos químicos con suministro propio de oxígeno, ni en incendios con materiales reactivos. Hay que tener en cuenta que los metales y los hidruros descomponen el dióxido de carbono.

- N_2

Es un gas inerte no tóxico siempre que se encuentre a temperatura ambiente y teniendo en cuenta que si se inyecta a chorro sobre el fuego, el nitrógeno se puede descomponer en peróxido de nitrógeno y cianógeno debido a la alta temperatura del fuego y estos sí que son productos tóxicos; su método de extinción del incendio es a partir de la inertización, desplazando el oxígeno que hay en la atmósfera por debajo de los niveles que permiten la combustión.

Este agente se suele utilizar como agente preventivo para inertizar atmósferas peligrosas, en lugar de como agente extintor.

- *Halones*

Productos químicos derivados de la halogenación de hidrocarburos.

No son conductores de la corriente eléctrica; extinguen por inhibición y se pueden emplear en fuegos de clase A, clase B y clase C.

No dejan residuo tras su aplicación y son de inundación total.

No es necesaria la evacuación previa del recinto y sus concentraciones de diseño no ocasionan daños a las personas.

La utilización tan abundante de los CFC, ha tenido como consecuencia que de manera voluntaria o accidental, se hayan descargado estos productos a la atmósfera. A partir de 1970 las investigaciones demostraron que se podía detectar este compuesto en cualquier parte de la atmósfera terrestre.

A pesar de que no producen efectos en las capas inferiores de la atmósfera, a partir de 30 kilómetros de altitud su exposición a radiaciones ultravioletas de alta energía producen su descomposición en átomos de cloro y otros elementos residuales. Estos átomos de cloro se combinan con el ozono, que es la capa que protege a la tierra de las radiaciones ultravioletas, de la relativamente inofensiva UVA, de la peligrosa UVB y de la letal UVC.

Los halones, al contener bromo también resultan muy dañinos para la capa de ozono ya que un átomo de bromo es mucho más destructor que el cloro. Así que fue catalogado como compuesto peligroso ya que se le asignó el valor máximo de ODP (Ozone Depletion Potential, valora la capacidad destructora de una sustancia) para un agente extintor.

De manera que después de las investigaciones y después de años de negociaciones los países de la Unión Europea aprobaron una normativa propia para eliminar los productos que destruyen la capa de ozono, prohibiendo la fabricación de halones y la instalación de nuevos equipos a partir del 1 de Enero de 1994, y retirándolos del mercado de manera definitiva a partir del 31 de Diciembre del 2003.

Al quedar los halones totalmente prohibidos, se generó la necesidad de crear sustitutos que son productos de mezclas de gases.

2. SISTEMAS FIJOS DE EXTINCIÓN INSTALADOS A BORDO DEL VERÓNICA B

En caso de incendio a bordo, existen tres tipos de detectores:

- Detectores térmicos
- Detectores de humo
- Detectores de llama

El térmico se encuentra en la cocina y los de llama se encuentran en la máquina. Los de humo están distribuidos por todo el buque.

La estación de control de incendios, el panel de alarma, se localiza en el puente de gobierno con un panel repetidor en el control de máquinas. Indica la zona en la que se ha producido el incendio y qué detector ha saltado.

Existe un pulsador de alarma general, que en caso de incendio se deben pulsar hasta romper el cristal de protección y sonará la alarma de incendios. Éste se encuentra en la consola de puente de gobierno.

Los sistemas fijos de extinción de incendios que se encuentran a bordo, son:

2.1 HIDRANTES Y MANGUERAS

Los hidrantes o tomas de contra incendios son las válvulas en que acaba cada ramal del sistema de contra incendios y que permiten la conexión de éste a las mangueras.

A bordo hay un total de diez mangueras estibadas en diez cajas que contienen las lanzas correspondientes.

2.2 BOMBAS CONTRA INCENDIOS

Se cuenta con tres electro-bombas a bordo, para abastecer el sistema de contra incendios. Cada una de las bombas proporciona un caudal de 80000 l/h.

Hay dos bombas en la cámara de máquinas y una bomba de emergencia en el local de las hélices de proa.

2.3 ROCIADORES DE AGUA

Este sistema consta de una caja en el control, consta de tres botones: para silenciar el sonido, para parar la bomba y el botón que resetea.

La caja se divide en las zonas a proteger de la cámara de máquinas (motor principal, motores auxiliares y la zona de la caldera).

Este sistema puede funcionar tanto manualmente como automáticamente.

Se activa automáticamente cuando la centralita del control de máquinas recibe la señal del detector de humos y de fuego, arranca automáticamente la bomba de agua y se envía a la zona afectada.

2.4 SISTEMA DE EXTINCIÓN CON CO₂

El CO₂ actúa directamente sobre el factor comburente, desplazando el oxígeno y produciendo efectos de sofocación. También actúa en menor medida sobre el factor temperatura por los ligeros valores enfriadores en el momento de su vaporización.

Una vez que el incendio se ha extinguido y el riesgo ha finalizado, para poder entrar en las zonas donde exista una atmósfera en la que se haya vaciado CO₂, se deberá utilizar un equipo de respiración autónoma, teniendo en cuenta que en un recinto en el que se ha descargado CO₂ hay inexistencia de oxígeno de manera que no es compatible con la vida.

El accionamiento de este sistema es manual ya que antes de poner en marcha la descarga, hay que cerciorarse de que ningún miembro de la tripulación está presente en la zona del incendio.

En primer lugar se acciona la alarma contra incendios y de manera simultánea se para la ventilación; se debe cerrar manualmente las válvulas de cierre rápido, las válvulas cortafuegos, las puertas estancas y parar la bomba. Finalmente se acciona la palanca que activará la descarga de la zona donde se ha producido el incendio.

Para las zonas de la cámara de máquinas, el accionamiento se realiza gracias a unas cajas disparadoras instaladas en un local situado en la banda de estribor de la cubierta principal. En el caso de activar la caja de máquinas, se dispararan todas las botellas de CO₂, si se accionara la caja de depuradoras, se dispararían tres botellas de CO₂ y si se accionara la caja del incinerador se dispararía una única botella de CO₂.

En caso de que el incendio se haya producido en las bodegas, se debe abrir la válvula de la distribución de la bodega que se desee. En el momento que se active un poco la válvula, empezará a sonar la alarma; se debe parar la ventilación y tapar las aberturas de las bodegas y dependiendo del estado de la carga de las bodegas se accionará un determinado número de botellas de CO₂.

ESPACIO	BODEGA TOTALMENTE CARGADA	BODEGA A MEDIA CARGA	BODEGA VACIA
Bodega 1	4 botellas	6 botellas	11 botellas
Bodega 2	11 botellas	17 botellas	33 botellas
Bodega 3	17 botellas	24 botellas	47 botellas
Bodega 4	17 botellas	25 botellas	50 botellas
Bodega 5	17 botellas	26 botellas	51 botellas
Bodega 6	17 botellas	26 botellas	51 botellas
Bodega 7	17 botellas	25 botellas	50 botellas
Bodega 8	16 botellas	24 botellas	47 botellas

Tabla 1. Distribución de botellas de CO₂



Ilustración 5. Válvulas de accionamiento para la extinción en bodegas



Ilustración 6. Válvulas de accionamiento del sistema de CO₂



Ilustración 7. Almacenamiento de botellas de CO₂

3. AGENTES EXTINTORES ELEGIDOS PARA EL ESTUDIO

La solución a la regulación del uso de halones que se contempla bajo el Protocolo de Montreal, en el cual se eliminó la producción y uso en los países desarrollados, viene dada por alternativas y sustitutos. Son agentes limpios de inundación total, entre otros.

Los agentes limpios de supresión de incendios son agentes extintores que se vaporizan rápidamente y no dejan residuos. Estos agentes se dividen en dos categorías:

- *Gases inertes*

Los gases inertes son mezclas de Argón y Nitrógeno; apagan el fuego mediante la reducción de la cantidad de oxígeno hasta que no se puede mantener la combustión. Se almacenan como gases presurizados, por lo cual se requiere un amplio volumen de almacenamiento. Se emplean en riesgos eléctricos, electrónicos y tecnológicos y en áreas desocupadas.

No es un agente óptimo para inundaciones totales puesto que se requeriría un gran volumen de gas.

- *Compuestos de halocarbono*

Los compuestos de halocarbono, son gases limpios (HFC) que actúan sobre el fuego a concentraciones relativamente bajas. La extinción se produce por la combinación de mecanismos físicos y químicos. Se almacenan como gases licuados. La gran ventaja frente al CO₂ o los gases inertes, es que se necesita una menor cantidad de gas para extinguir el fuego y por lo tanto las baterías de los cilindros son más pequeñas de manera que se optimiza el espacio requerido para el almacenamiento. Estos gases se utilizan ante riesgos eléctricos, electrónicos y tecnológicos y en áreas ocupadas gracias a su baja toxicidad. También se pueden utilizar cuando la localización del fuego es múltiple o desconocida. Se vaporizan rápidamente y no dejan residuos.

3.1 FM-200

Nombre comercial	Designación	Fórmula	Nombre químico
FM-200	HFC-227 ea	C_3F_7H	Heptafluoropropano

Tabla 2. Nomenclatura del FM-200

Es el gas sustitutivo del halón más extendido a nivel mundial (el halón 1301).

Extingue el fuego por la absorción y extracción de calor en las llamas, cuando el gas se descompone la llama del fuego baja de temperatura y entonces la reacción química de combustión se detiene.

Se caracteriza por una rápida extinción del fuego y el tiempo de la descarga de este gas es de 10 segundos o menos.

Es un agente limpio y gaseoso que no contiene partículas ni residuos aceitosos.

Después de diversos ensayos, ha sido reconocido como apto tanto a nivel de capacidad de extinción, como aceptabilidad medioambiental o bien para la seguridad humana.

Para la aplicación en áreas ocupadas, hay que tener en cuenta que, si su tiempo de exposición no excede de un minuto, se permiten exposiciones en concentraciones superiores al 10,5% o del 9% si no se estipula tiempo de evacuación predeterminado.

Sofoca rápidamente los incendios mediante mecanismos físico-químicos en concentraciones de diseño inferiores al 7%.

Las concentraciones máximas admitidas para la descarga de los agentes extintores, viene determinada según el protocolo de Reinhardt dando valores en función de la sensibilización cardíaca. La concentración máxima permitida a la cual no se producen efectos adversos observables, se denomina NOAEL.

Debido a su nivel de NOAEL permite su aplicación en áreas ocupadas.

Analizando su toxicidad, se sabe que los vapores del FM-200 ocasionan daños en lentes de contacto blandas, produciendo irritación ocular. En caso de inhalación del gas, hay que llevar a la persona afectada al aire libre.

La NFPA recomienda el desalojo del área a inundar para evitar exposiciones innecesarias y para evitar los productos de descomposición derivados de un incendio. El FM-200 puede descomponerse a altas temperaturas y acabar formando ácidos halógenos. En caso de que esto ocurriera, se detectaría fácilmente gracias a su fuerte y picante olor que se desarrolla antes de llegar a los niveles máximos de peligrosidad.

Es un gas limpio de alta eficacia y de baja concentración. Su almacenamiento es en cilindros metálicos de alta presión, de manera que el espacio de almacenamiento es reducido.

La descarga se realiza en un intervalo de tiempo corto (10 segundos) donde invadirá todo el espacio y así el fuego quedará sofocado; apaga el fuego inmediatamente porque actúa sobre la reacción en cadena, rompiéndola y extinguiendo la energía calorífica de la llama. Es apropiado para fuegos de CLASE A, B y C.

No es conductor eléctrico así que es apto para usarse sobre materiales existentes como equipos eléctricos, ordenadores u otros elementos importantes.

PROPIEDAD	REQUISITO
Pureza	99,6% (mol/mol), mín.
Acidez	3×10^{-6} por masa, máx.
Contenido de agua	10×10^{-6} % por masa, máx.
Residuos no volátiles	0,01% por masa, máx.
Materias en suspensión o sedimentos	No visibles

Tabla 3. Especificaciones del HFC 227ea

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
Masa molecular	-	170
Punto de ebullición a 1,013 bar (absoluta)	°C	-16,4
Punto de congelación	°C	-127
Temperatura crítica	°C	101,7
Presión crítica	bar abs ^a	29,26
Volumen crítico	cm ³ /mol	274
Densidad crítica	kg/m ³	573
Presión de vapor a 20°C	bar abs ^a	3,9
Densidad en estado líquido a 20°C	kg/m ³	1410
Densidad de vapor saturado a 20°C	kg/m ³	31,035
Volumen específico de vapor sobrecalentado a 1,031bar y a 20°C	m ³ /kg	0,1374

Tabla 4. Propiedades físicas del HFC 227ea

3.2 FE-13

Nombre comercial	Designación	Fórmula	Nombre químico
FE-13	HFC-23	CHF ₃	Trifluorometano

Tabla 5. Nomenclatura del FE-13

Es un agente extintor limpio de baja presión.

La extinción de los incendios es mayoritariamente por absorción de calor y la extinción se produce de una manera rápida y después de su aplicación no deja residuos.

No requiere presurización con nitrógeno gracias a su alta presión de vapor a Temperatura ambiente (41 bares a 20°C)

Su almacenamiento puede estar lejos del espacio protegido y en otros lugares a temperatura ambiente debido a su bajo punto de ebullición.

Es recomendable para riesgos con techos elevados (de hasta 7,5m) y también recomendable para riesgos con bajas temperaturas.

Debido a su estado gaseoso cuando se produce la descarga en el área de riesgo, el gas invade todo el espacio en un periodo de tiempo máximo de 10 segundos, con unas excelentes características de descarga para imposibilitar que el fuego alcance dimensiones y temperaturas que pudieran descomponer el agente extintor.

Debido a su baja toxicidad, se convierte en el gas más seguro para proteger áreas ocupadas. Cuando se aplica el FE-13 el nivel de oxígeno se reduce de un 21% a un 20%.

Los análisis de toxicidad a los que se ha sometido el Trifluorometano determinan que es mínima y que su concentración letal está en el 65% de la inundación.

NFPA 2001, considerando las propiedades tóxicas, ha determinado los límites de concentración del producto en función de la duración máxima de exposición del personal. El límite ha sido asignado para la evacuación entre los 30 y 60 segundos, de manera que se deberá evacuar antes de que la inundación del producto exceda el 30 % del local.

Tiene una gran eficacia, ya que en una concentración de aire del 16% está en disposición de inhibir la mayor parte de las combustiones. Es especialmente eficaz para las llamas de:

1. Incendios que comprendan materias secas (CLASE A)
2. Incendios que comprendan materias grasas, ya sean sólidas o líquidas (CLASE B)
3. Incendios que comprendan gas (CLASE C)

Este agente se emplea en sistemas de inundación total.

El FE-13 es un producto puro, no es una mezcla y al no tener contenido en cloro y bromo, su potencial de reducción de ozono es cero, ya que no produce ningún desgaste sobre él. Al ser un hidrofluorocarbono (HFC), es una solución viable y validada para los problemas propuestos en el Protocolo de Montreal y el de Kyoto.

No conduce la electricidad. Es un gas incoloro y casi inodoro, tiene un ligero olor similar al éter. Tiene una densidad que es aproximadamente 2,4 veces la del aire.

PROPIEDAD	REQUISITO
Pureza	99,6% (mol/mol), mín.
Acidez	3×10^{-6} por masa, máx.
Contenido de agua	10×10^{-6} % por masa, máx.
Residuos no volátiles	0,01% por masa, máx.
Materias en suspensión o sedimentos	No visibles

Tabla 6. Especificaciones del HFC 23

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
Masa molecular	-	70
Punto de ebullición a 1,013 bar (absoluta)	°C	-82,0
Punto de congelación	°C	-155,2
Temperatura crítica	°C	25,9
Presión crítica	bar abs ^a	48,36
Volumen crítico	cm ³ /mol	133
Densidad crítica	kg/m ³	525
Presión de vapor a 20°C	bar abs ^a	41,80
Densidad en estado líquido a 20°C	kg/m ³	806,6
Densidad de vapor saturado a 20°C	kg/m ³	263,0
Volumen específico de vapor sobrecalentado a 1,031bar y a 20°C	m ³ /kg	0,3409

Tabla 7. Propiedades físicas del HFC 23

4. NORMATIVA

Para poder diseñar un sistema contra incendios es necesario conocer las normativas existentes en este ámbito.

- *SOLAS*

Es el Convenio Internacional para la seguridad de la vida humana en la mar.

Es un Convenio regulador de toda la normativa relativa a la seguridad marítima, que se debe cumplir tanto a bordo como en las instalaciones marítimas portuarias. En este convenio se habla de normas sobre el diseño, prescripciones contra incendios, elementos de salvamento, comunicaciones, sistemas de propulsión y gobierno, cargas, etc.

Su objetivo principal es velar por la seguridad de las personas que estén a bordo y la seguridad del propio buque; los estados que hayan aceptado el SOLAS son responsables de que los buques bajo su pabellón, cumplan con las prescripciones gracias a reconocimientos y certificados. En este convenio están incluidos varios artículos donde se establecen las obligaciones generales y los procedimientos oportunos. Si existieran motivos fundados para creer que un buque determinado no cumple con el convenio, el Estado rector del puerto puede inspeccionar los buques de otros estados contratantes.

El SOLAS dedica el *capítulo 2*¹ al tema de prevención, detección y extinción de incendios.

- *UNE*

Una norma UNE es una especificación técnica de aplicación voluntaria, basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico.

Dichas normas, vienen generadas por el consenso entre las partes interesadas e involucradas en la actividad. Deben ser aprobadas por un Organismo de Normalización reconocido a nivel nacional e internacional (AENOR).

¹ Anexo 1: Extracto de la Normativa SOLAS

Estas normas garantizan unos niveles de calidad y seguridad.

AENOR es la Asociación Española de Normalización y Certificación; una entidad privada sin fines lucrativos. Es el organismo legalmente responsable del desarrollo y difusión de las normas técnicas en España. Está situada entre las diez certificadoras más importantes del mundo, dejando constancia de su buen hacer, no sólo en España, sino también a nivel internacional.

Las normas UNE que se utilizarán:

UNE 15004-1:2008²: Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de extinción mediante agentes gaseosos. Parte 1: Diseño, instalación y mantenimiento

UNE 15004-5:2008: Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de extinción mediante agentes gaseosos. Parte 5: Propiedades físicas y diseño de sistemas de extinción mediante agentes gaseosos con HFC 227 ea.

UNE 15004-6:2008: Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de extinción mediante agentes gaseosos. Parte 6: Propiedades físicas y diseño de sistemas de extinción mediante agentes gaseosos con HFC 23.

- **NFPA**

Es la fuente principal a nivel mundial de desarrollo y diseminación de conocimiento e información sobre seguridad humana, seguridad eléctrica y protección contra incendios. Es una organización internacional que desarrolla normas y códigos, para proteger las personas, la propiedad y el medio ambiente del poder destructivo de los incendios.

Las normas NFPA que se utilizaran son:

NFPA 2001: Standard on clean agent fire extinguishing systems.

NFPA 12: Standard on carbon dioxide extinguishing systems

NFPA 14: Standard for the installation of standpipe and hose systems

² Anexo 2: Extracto de la Normativa UNE 15004-1:2008

- *CÓDIGO SSCI: CÓDIGO INTERNACIONAL DE SISTEMAS DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS*

El código SSCI dedica el Capítulo 9 – Sistemas fijos de detección de incendios y de alarma contra incendios.

En esta publicación hay contenidas especificaciones técnicas para los sistemas y equipos de seguridad contra incendios a las que se refiere el capítulo 2 del SOLAS.

5. DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FIJA CONTRA INCENDIOS

Ambas instalaciones fijas contra incendios deben proteger aquellos espacios del buque en los cuales existen equipos y componentes eléctricos que no pueden sufrir daños en una situación de emergencia.

Previo al cálculo del volumen a proteger se debe tener en cuenta el Capítulo 6: Diseño del sistema de la Norma UNE 15004-1, el cual especifica lo siguiente:

- *La cantidad de agente en el sistema debe ser suficiente para proteger el mayor riesgo o conjunto de riesgos que se deban proteger simultáneamente.*

Se considerará como el mayor riesgo o el conjunto de riesgos, la posibilidad de que se produzca a la vez un incendio en la Sala de máquinas y en una bodega de Carga del buque.

5.1 VOLUMEN PROTEGIDO

El volumen a proteger en la sala de máquinas incluirá los siguientes espacios o equipos:

- *Motor Principal:* situado en la zona central y a proa de la cubierta inferior del buque.
- *Motores Auxiliares:* situados en la zona central y a popa de la cubierta inferior del buque.
- *Caldera:* situada en la banda de babor y a popa de la cubierta inferior del buque.
- *Sala de Purificadoras:* situada en la banda de estribor y a popa de la cubierta inferior.
- *Control de Máquinas:* situado en la zona central y a proa de la cubierta inferior.

El volumen a proteger de una de las bodegas de carga del buque, será el volumen de la bodega de Carga número 8, ya que corresponde a la bodega con dimensiones más grandes.

El procedimiento a seguir para calcular el volumen total protegido se extrae de la *Norma RT4: Especificación Técnica para el Diseño e Instalación de Sistemas de Extinción por CO2* de Cepreven, en la cual especifica:

- *El volumen neto será igual a la suma de los volúmenes de los espacios a proteger menos el volumen de los elementos y equipos situados en dichos espacios, teniendo en cuenta el volumen de aire de los ventiladores y accesos que no puedan ser cerrados durante la descarga del agente gaseoso.*

$$V = V_v + 4 \cdot V_z - V_G$$

Donde:

- V_v corresponde al volumen de los recintos a proteger en m^3 .
- V_z corresponde al volumen, en m^3 , del aire que se introduce o se extrae de la sala de máquinas y de la bodega N° 8, por los sistemas de ventilación, accesos o extractores, que no pueden ser desconectados durante la descarga del gas.
- V_G corresponde al volumen, en m^3 , de las estructuras (equipos y elementos) por las cuales el agente no puede penetrar.

✓ *Volumen de los recintos (V_v)*

El volumen de los espacios de la Sala de máquinas y de la bodega de Carga N° 8, se calcula extrayendo las medidas de dichos espacios de los planos del buque³, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

	Amplitud (m)	Profundidad (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)
Control de Máquinas	5	7	2.3	80.5
Sala de Purificadoras	8.5	7.5	2.5	159.4
Sala de la Caldera	5	5	2.6	65
Sala del Motor Principal	15	5.6	7	588
Motores Auxiliares	8	6	3	144
Guardacalor	4.8	5.4	8	207.36
Incinerador	5	6	2.3	69
Bodega N° 8	13.5	17	12	2856
			Σ	4169

Tabla 8. Volumen de los recintos a proteger

El volumen de los espacios a proteger es:

$$V_v = 4169 \text{ m}^3$$

✓ *Volumen de los sistemas de ventilación, accesos o extractores (V_z)*

Este volumen se ignora, siendo su valor igual a 0, ya que existe la posibilidad de cerrar de manera estanca la sala de máquinas antes de activar la descarga del agente extintor.

La circulación de aire entre el exterior y el interior se interrumpe con las siguientes acciones:

- Desconectando todos los ventiladores y extractores de la Sala de Máquinas como los de las bodegas de carga.

³ Anexo 3: Planos del Verónica B

- Cerrando mediante unas compuertas, la comunicación al exterior del guardacalor.

$$V_z = 0 \text{ m}^3$$

✓ *Volumen de las estructuras (V_G)*

El volumen de las estructuras corresponde a la suma de los volúmenes de equipos, tuberías, mobiliario, accesorios, etc.

El volumen de dichas estructuras de la Sala de máquinas y de la bodega de Carga Nº 8, se calcula extrayendo las medidas de los planos del buque⁴, las cuales se recogen en la siguiente tabla:

Control de Máquinas				
	Amplitud (m)	Profundidad (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)
Cuadro eléctrico 1	5.5	0.8	2.2	9.68
Cuadro eléctrico 2	0.7	0.7	1.5	0.73
Cuadro eléctrico 3	0.7	0.57	2.2	0.87
Cuadro eléctrico 4	0.8	0.4	2	0.64
Otros elementos				5.2
			Σ	17.11

Tabla 9. Volumen de las estructuras del Control de Máquinas

⁴ Anexo 3: Planos del Verónica B

Sala de Máquinas				
	Amplitud (m)	Profundidad (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)
Purificadoras (5)	1.5	0.7	1.5	7.88
Cuadro Bombas	3	1.2	2.1	7.56
Cuadro purificadoras	3.5	1.9	2	13.3
Caldera	2.2	1.85	2.2	10.17
Motor principal	10	4.5	5.5	247
Motores Auxiliares (3)	4.8	1.4	2	40.32
Cuadro Eléctrico	1.02	1.02	1.45	1.50
Máquina 1	1.85	0.73	1.9	2.6
Máquina 2	1.1	1.95	1	2.16
Guardacalor				30
Otros elementos				30
			Σ	393

Tabla 10. Volumen de las estructuras de la Sala de Máquinas

Bodega nº 8				
	Amplitud (m)	Profundidad (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)
Otros elementos				160
			Σ	160

Tabla 11. Volumen de las estructuras de la Bodega Nº8

$$V_G = V_{Control\ de\ \acute{a}\ quinas} + V_{Salade\ M\ \acute{a}\ quinas} + V_{Bodega}$$

$$V_G = 17.11 + 393 + 160$$

El volumen de todas las estructuras de los espacios a proteger es:

$$V_G = 572\ m^3$$

El volumen protegido por la instalación fija contra incendios será:

$$V = V_v + 4 \cdot V_z - V_G$$

$$V = 4169 + 4 \cdot 0 - 575$$

$$V = 3600\ m^3$$

5.2 RED DE TUBERÍAS

La red contra incendios es el conjunto de tramos de tuberías y accesorios necesarios cuya finalidad es transportar el gas desde las botellas de almacenamiento hasta los recintos o equipos a proteger en caso de incendio.

El dimensionamiento de la red de tuberías de ambas instalaciones fijas contra incendios se ha calculará siguiendo las indicaciones de las normativas listadas anteriormente.

✓ *Distribución de la red de tuberías*

El local destinado a almacenar las botellas de gas extintor está localizado junto la superestructura de la cubierta principal, a la banda de estribor.

La totalidad de las botellas de agente extintor instaladas en el local descargarán a un colector general y éste dirigirá el gas hacia la tubería principal.

La tubería principal de distribución de gas se dirigirá hacia el espacio libre del guardacalor y descenderá hacia la cubierta inferior de la sala de máquinas.

La tubería principal constará de varios ramales que distribuirán el gas hacia los espacios y equipos a proteger.

✓ *Esquema de la red de tubería*

El colector principal (1) está colocado a 180 centímetros de distancia del suelo del local de botellas de gas, lo que implica que la tubería principal deberá ascender 100 centímetros (2) para que pueda continuar por el techo de la cubierta principal (3).

La red contra incendios se compone de:

- Tubería principal que se prolonga por la zona central de la cubierta principal (4) y donde existe 2 ramales de tuberías secundarias dirigidas hacia los espacios del guardacalor (5) i de la sala del Incinerador (6).
- Tubería principal que desciende desde la cubierta principal hacia la cubierta inferior, Sala de Máquinas (7).

- Tubería principal que se prolonga a lo largo de la cubierta principal hacia las bodegas de carga (9) y donde existen 8 ramales de tuberías secundarias, una por cada bodega de carga.
- Tubería principal que abastece la sala de máquinas (10) y donde existen 7 ramales de tuberías secundarias dirigidas hacia los espacios:
 - La caldera (11)
 - Los motores auxiliares (12)
 - El control de máquinas (13)
 - La sala de las depuradoras (14)
 - El motor principal (15)

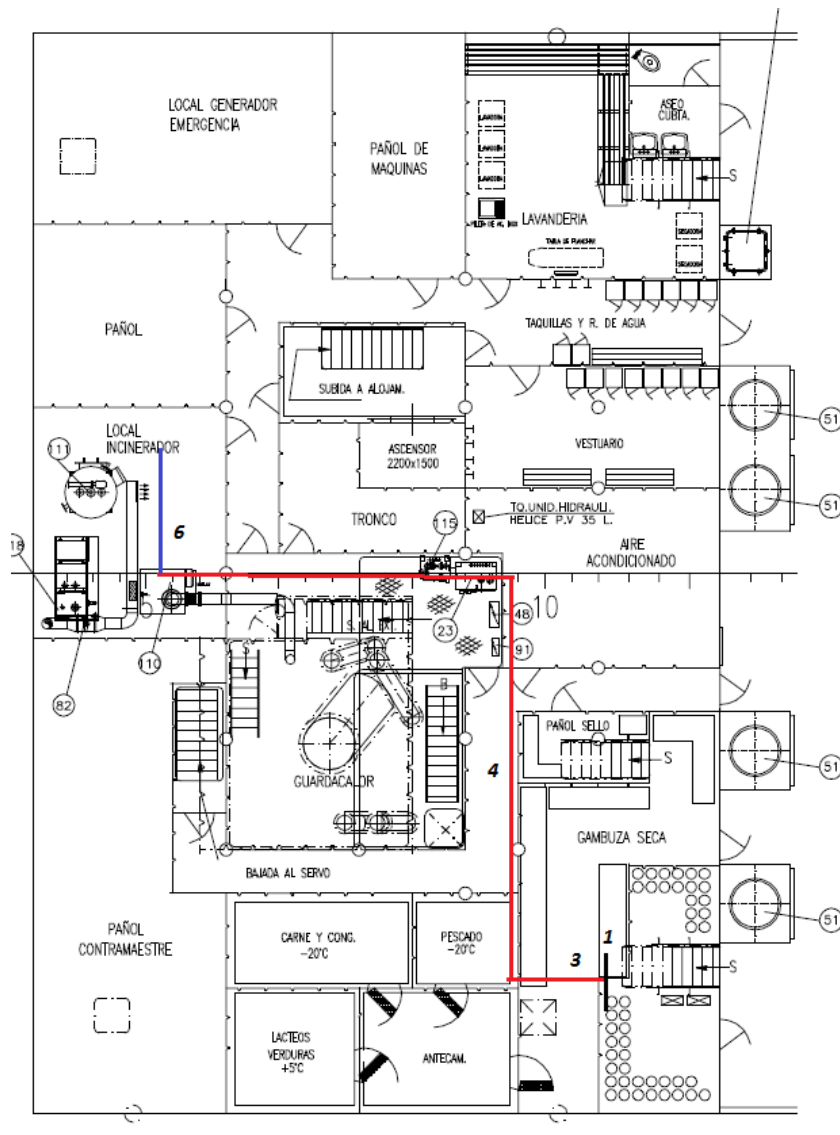


Ilustración 8. Planta de la Cubierta Principal del Verónica B

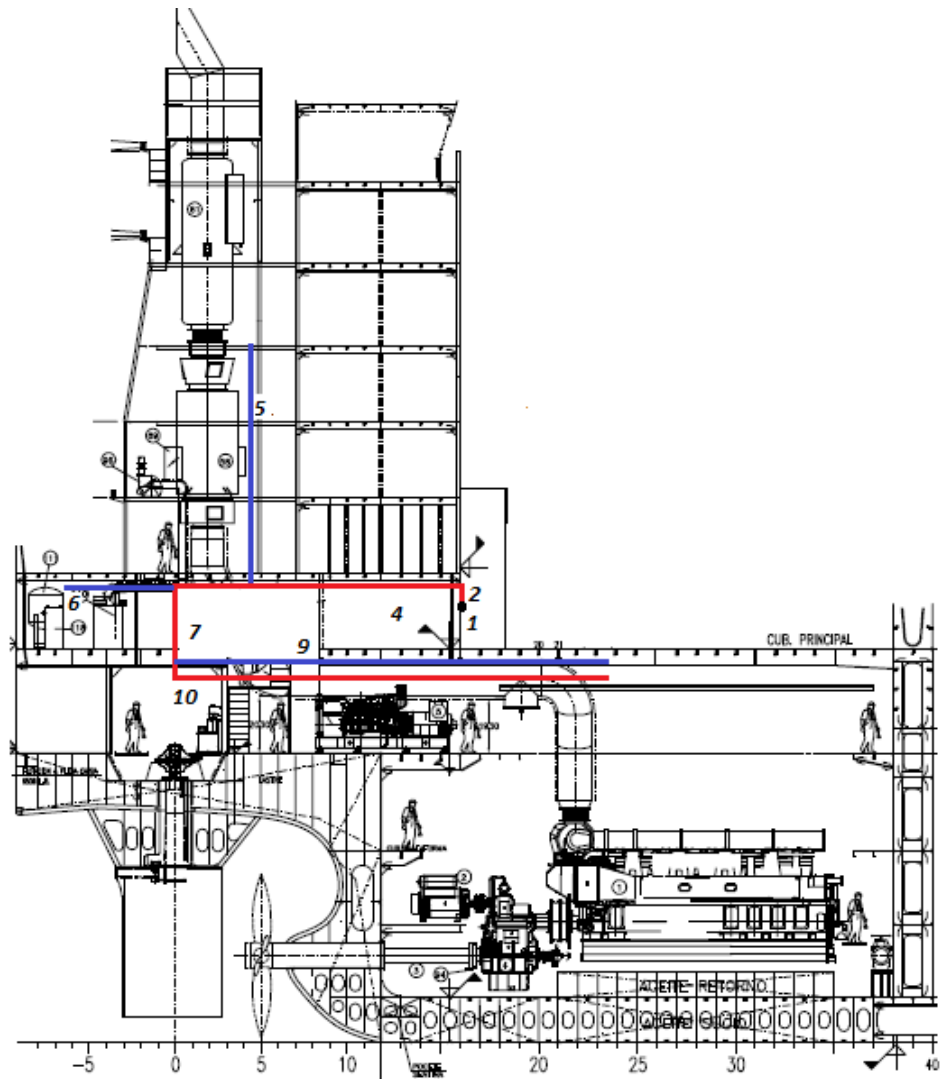


Ilustración 9. Perfil zona de popa del Verónica B

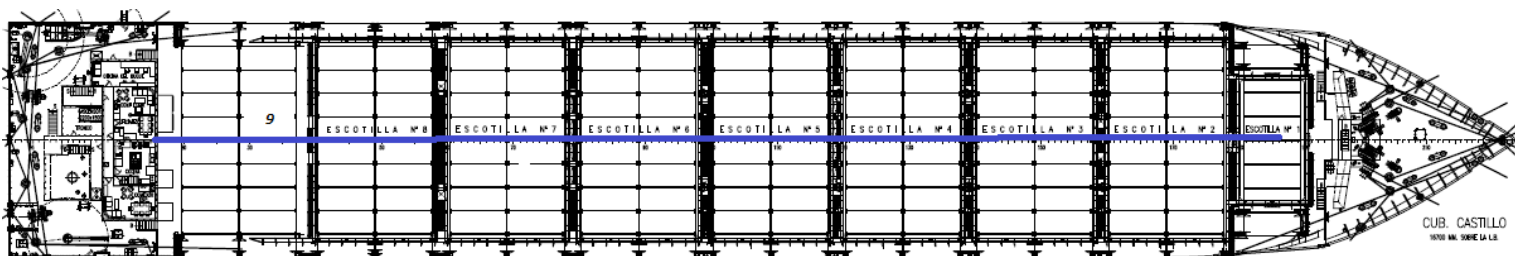


Ilustración 10. Planta de las Bodegas del Verónica B

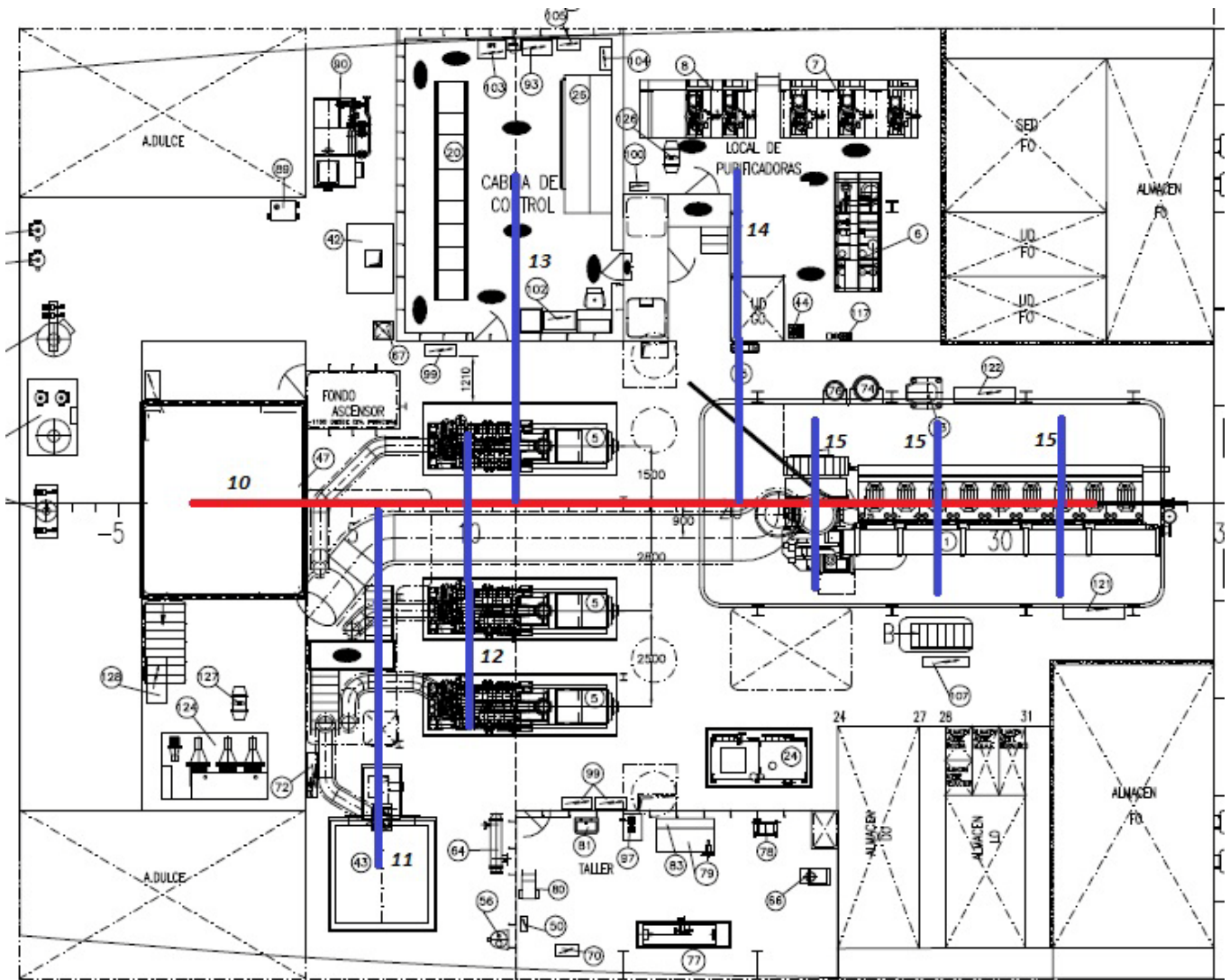


Ilustración 11. Planta de la Cubierta Sala de Máquinas del Verónica B

✓ *Tramos red de tuberías*

Para realizar y facilitar el dimensionamiento de las tuberías y de los accesorios de los ambos sistemas fijos, previamente se ha dividido la red contra incendios en varios tramos, los cuáles se enumeran a continuación:

Nº	Tramo
1	Colector principal
2	Tubería principal ascendente
3	Tubería principal hacia la zona central de la cubierta principal
4	Tubería principal hacia el guardacalor
5	Tubería principal hacia el espacio del guardacalor
6	Ramal guardacalor
7	Tubería principal hacia Incinerador
8	Ramal Incinerador
9	Tubería principal descendente
10	Ramal hacia las bodegas de carga
11	Tubería principal descendente hacia sala de máquinas
12	Ramal hacia la caldera
13	Tubería principal Sala de máquinas
14	Ramal hacia motores auxiliares
15	Tubería principal Sala de máquinas
16	Ramal hacia el control de máquinas
17	Tubería principal Sala de máquinas
18	Ramal hacia la Sala de depuradoras
19	Tubería principal Sala de máquinas
20	Ramal hacia el Motor principal
21	Tubería principal Sala de máquinas
22	Ramal hacia el Motor Principal
23	Tubería principal Sala de máquinas

Tabla 12. Listado de tramos de la red de tuberías

✓ *Longitud red de tuberías*

A través de los planos del buque Verónica B⁵ se calculan las longitudes de cada uno de los tramos en los que se ha dividido la red contra incendios.

Nº	Tramo	Longitud (m)
1	Colector principal	4
2	Tubería principal ascendente	1
3	Tubería principal hacia la zona central de la cubierta principal	3
4	Tubería principal hacia el guardacalor	7.5
5	Tubería principal hacia el espacio del guardacalor	5
6	Ramal guardacalor	8
7	Tubería principal hacia Incinerador	4
8	Ramal Incinerador	4
9	Tubería principal descendente	3
10	Ramal hacia las bodegas de carga	120
11	Tubería principal descendente hacia sala de máquinas	1
12	Ramal hacia la caldera	12
13	Tubería principal Sala de máquinas	3
14	Ramal hacia motores auxiliares	9
15	Tubería principal Sala de máquinas	5
16	Ramal hacia el control de máquinas	8
17	Tubería principal Sala de máquinas	3
18	Ramal hacia la Sala de depuradoras	9
19	Tubería principal Sala de máquinas	3.8
20	Ramal hacia el Motor principal	4
21	Tubería principal Sala de máquinas	3.8
22	Ramal hacia el Motor Principal	4
23	Tubería principal Sala de máquinas	4

Tabla 13. Longitud tramos de la red de tuberías

⁵ Anexo 3: Planos del Verónica B

5.3 LONGITUD EQUIVALENTE DE LA RED DE TUBERÍAS

La instalación contra incendios se compone de los tramos detallados en el apartado 5.2, pero además, es necesario utilizar accesorios para poder conectar diferentes ramales.

La red de tuberías estará constituida principalmente por los siguientes elementos:

- *Codos*: necesarios para permitir que los conductos cambien de dirección, es decir, incorporar un giro entre tramos de tuberías.
- *T's*: necesarias para realizar la bifurcación del flujo de gas desde la tubería principal hacia los diferentes lugares a proteger.

Los accesorios necesarios para formar la red de distribución del agente extintor hacia los recintos se listan a continuación:

Nº	Tramo	Accesorios	Cantidad
1	Colector principal	T	1
2	Tubería ascendente	Codo	1
3	Tubería zona central cubierta principal	Codo	1
4	Tubería guardacalor	Codo	1
5	Tubería espacio del guardacalor	T	1
6	Ramal guardacalor	T	2
7	Tubería hacia Incinerador	T	1
8	Ramal Incinerador	T	2
9	Tubería descendente	T	1
10	Ramal bodegas de carga	T	8
11	Tubería descendente sala de máquinas	Codo	1
12	Ramal caldera	T	1
13	Tubería Sala de máquinas	T	1
14	Ramal motores auxiliares	T	3
15	Tubería Sala de máquinas	T	1
16	Ramal el control de máquinas	T	2
17	Tubería Sala de máquinas	T	1
18	Ramal la Sala de depuradoras	T	3
19	Tubería Sala de máquinas	T	1
20	Ramal el Motor principal	T	2
21	Tubería Sala de máquinas	T	1
22	Ramal el Motor Principal	T	2
23	Tubería Sala de máquinas	T	2

Tabla 14. Accesorios de la red de tuberías

La incorporación de estos elementos a las tuberías de la instalación provoca unas pérdidas de presión en el sistema, que pueden ser estimadas mediante las "longitudes equivalentes".

Existe una relación entre las pérdidas de presión causadas por los codos y/o T's y el aumento de longitud de las tuberías, es decir, al conectar un conducto con un accesorio, la longitud aumenta en proporción a la pérdida de presión y al diámetro de la misma.

5.4 DETECTORES

El código Internacional de sistemas de seguridad contra incendios dedica el capítulo 9: *Sistemas fijos de detección de incendios y de alarma contra incendios*, en el cual se especifica el alcance máximo de los detectores.

El código SSCI establece que los detectores estarán situados de modo que funcionen con una eficacia óptima.

Se evitará colocarlos próximos a baos o conductos de ventilación o en otros puntos en que la circulación del aire pueda influir desfavorablemente en su eficacia o donde estén expuestos a recibir golpes o a sufrir daños.

Los detectores se colocarán en el techo a una distancia mínima de 0,5 m de los mamparos, salvo en pasillos, taquillas y escaleras.

La separación máxima de los detectores y el área máxima de cobertura son:

Tipo	Distancia máxima (m)	Área (m ²)
Calor	37	9
Humo	74	11

Tabla 15. Área máxima de cobertura de los detectores

Mediante los datos anteriores, se determinan la cantidad de detectores necesarios para cada uno de los recintos:

	Área (m ²)	Área máxima (m ²)	Nº de detectores de humo
Guardacalor	26	74	1
Incinerador	30	74	1
Bodegas	1706	74	24
Caldera	25	74	1
Control	35	74	1
MA	48	74	1
Purificadoras	64	74	1
MP	84	74	2

Tabla 16. Cantidad de detectores de humo

	Área (m ²)	Área máxima (m ²)	Nº de detectores de humo
Guardacalor	26	37	1
Incinerador	30	37	1
Bodegas	1706	37	47
Caldera	25	37	1
Control	35	37	1
MA	48	37	2
Purificadoras	64	37	2
MP	84	37	3

Tabla 17. Cantidad de detectores de calor

5.5 PULSADORES DE ALARMA

El código Internacional de sistemas de seguridad contra incendios específica que los pulsadores manuales de alarma deben estar agrupados por secciones.

Al no indicar el número de pulsadores en función del área o volumen a proteger, se establece que se instalará un pulsador de alarma en cada uno de los espacios que se pueda originar un incendio.

Así pues, el número de pulsadores existentes en el sistema contra incendios será:

	Área (m ²)	Nº Pulsadores alarma
Guardacalor	26	1
Incinerador	30	1
Bodegas	1706	8
Caldera	25	1
Control	35	1
MA	48	1
Purificadoras	64	1
MP	84	1

Tabla 18. Cantidad de pulsadores de alarma

6. INSTALACIÓN DE FM-200

6.1 CÁLCULO CANTIDAD DE AGENTE EXTINTOR

Para determinar la cantidad necesaria de agente extintor FM-200 para abastecer el volumen neto calculado anteriormente, se consulta el *Capítulo 7: Agente Extintor* de la Norma UNE 15004-1:2008, en el cual indica el procedimiento mediante la fórmula siguiente:

$$Q = \left(\frac{c}{100 - c} \right) \cdot \frac{V}{s}$$

Donde:

- Q corresponde a la cantidad total de agente extintor a una temperatura determinada, en kilogramos (kg)
- C corresponde a la concentración de diseño, en porcentaje de volumen (%)
- V corresponde al volumen de la zona de riesgo a proteger, en metro cúbicos (m^3)
- s corresponde al volumen específico a una presión de 1.013 bar, en metro cúbicos(m^3)

La concentración de diseño corresponde a la máxima concentración de agente extintor en la que no ha habido ningún efecto adverso fisiológico o tóxico y su valor varía en función del tipo de fuego al que se pretende luchar.

En situación de incendio, se pueden ocasionar diferentes tipos de fuego, Clase A y Clase B. Para realizar el cálculo se escoge la concentración de diseño más restrictiva, es decir, la correspondiente a los fuegos de tipo B (combustibles).

La concentración de diseño para fuegos de tipo B del FM-200 es del 9%.

El volumen específico del FM-200 varía en función de la temperatura y de unas constantes del gas y se puede calcular de forma aproximada mediante la fórmula:

$$S = K_1 + K_2T$$

Donde:

- $K_1 = 0.1269$
- $K_2 = 0.000513$
- $Temperatura\ en\ la\ zona\ de\ riesgo = 25\ ^\circ C$

$$S = 0.1269 + 0.000513 \cdot 25$$

$$S = 0.14$$

$$Q = \left(\frac{9}{100 - 9} \right) \cdot \frac{3600}{0.14}$$

$$Q = 2544\ kg\ de\ FM - 200$$

Se necesitará 2544 kg de agente extintor FM-200 para proteger simultáneamente la Sala de Máquinas y la bodega de Carga N° 8.

6.2 DIÁMETRO DE TUBERÍAS

En este apartado, se dimensionará el conjunto de tuberías que forman el sistema de contra incendios de FM-200.

El diámetro de un conducto se puede deducir si se conoce el valor del área de la sección transversal de dicho conducto.

Es posible determinar el área de una tubería utilizando la ecuación de continuidad.

La ecuación de continuidad relaciona el caudal, el área y la velocidad del fluido en una en un conducto y su expresión es:

$$Q = A \cdot V$$

Donde,

- Q corresponde al caudal que circula por el interior de la tubería, en $\frac{m^3}{s}$
- A corresponde al área de la sección transversal de la tubería, en m^2
- V corresponde a la velocidad del fluido por el interior de la tubería, en $\frac{m}{s}$

La red contra incendios estará formada por diversas tuberías cuyos diámetros serán distintos a consecuencia de la división del flujo que circulará en su interior.

Por lo tanto, se aplicará la expresión anterior en cada uno de los tramos determinados en el apartado 5.2 Red de tuberías, obteniendo así, el diámetro a lo largo de la red.

Velocidad

La velocidad del gas por el interior de la red de tuberías, se obtiene relacionando la longitud de tubería más larga por la cual debe circular por el tiempo en el que debe llegar a los difusores de descarga.

La distancia máxima de tubería corresponde al tramo dirigido hacia las bodegas de carga (tramo 10), el gas deberá recorrer 150 metros.

Se considera que el gas debe llegar a la descarga de aquellos difusores que se encuentren más alejados del local de botellas de gas en un tiempo máximo de 10 segundos.

Por lo tanto, relacionando la distancia máxima con el tiempo, se obtiene:

$$V = \frac{\text{Distancia (m)}}{\text{Tiempo (s)}}$$

$$V = \frac{150 \text{ m}}{10 \text{ s}}$$

$$V = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Caudal

El caudal es el volumen de fluido que circula por el interior de una tubería por unidad de tiempo.

A medida que el fluido avanza por la tubería, cierta cantidad de agente extintor se dirige hacia los diferentes ramales, lo que implica que el caudal de FM-200 va variando.

Para evaluar la variación del caudal a lo largo de la instalación, es necesario calcular previamente la cantidad de agente extintor destinado a cada uno de los espacios a proteger.

Para ello, se utiliza la expresión extraída del *Capítulo 7: Agente Extintor* de la Norma UNE 15004-1:2008, la cual relaciona la cantidad de agente extintor necesario para extinguir el fuego en función del volumen a proteger.

$$Q = \left(\frac{c}{100 - c} \right) \cdot \frac{V}{s}$$

Donde:

- Q corresponde a la cantidad total de agente extintor a una temperatura determinada, en kilogramos (kg)
- C corresponde a la concentración de diseño, en porcentaje de volumen (%)
- V corresponde al volumen de la zona de riesgo a proteger, en metro cúbicos (m^3)
- s corresponde al volumen específico a una presión de 1.013 bar, en metro cúbicos(m^3)

La concentración de diseño y el volumen específico del gas ya han sido calculados anteriormente en el apartado *6.1 cálculo de cantidad de agente extintor* y éstos no varían.

Se substituyendo el volumen neto de cada recinto en la formula anterior, se obtiene:

Recinto	Volumen Neto (m3)	Cantidad de agente (kg)
Guardacalor	170,26	120,28
Incinerador	57,78	40,82
Bodegas	2700,00	1907,38
Caldera	51,83	36,61
Control	62,39	44,07
MA	99,68	70,42
Purificadoras	124,64	88,05
MP	333,50	235,60

Tabla 19. Cantidad de agente extintor FM 200 para cada recinto

Tal como indican las normativas NFPA 2001 y la UNE 15004-1, el tiempo máximo de descarga del agente extintor para poder combatir el fuego en caso de incendio, debe ser de 10 segundos.

Por lo tanto, el caudal que circula por el interior de los ramales se obtiene dividiendo la cantidad de agente extintor por el tiempo de descarga.

$$Caudal = \frac{Cantidad_{FM-200} (Kg)}{Tiempo_{descarga} (s)}$$

Para poder substituir el caudal en la ecuación de continuidad, éste debe estar en unidades de metro cúbico por segundo, por lo que se hace la conversión mediante la densidad del FM-200, la cual es:

$$Densidad_{FM-200} = 1407 \frac{kg}{m^3}$$

Recinto	Cantidad agente (kg)	Caudal (kg/s)	Caudal (m ³ /s)
Guardacalor	120,28	12,03	0,0085
Incinerador	40,82	4,08	0,0029
Bodegas	1907,38	190,74	0,1356
Caldera	36,61	3,66	0,0026
Control	44,07	4,41	0,0031
MA	70,42	7,04	0,0050
Purificadoras	88,05	8,80	0,0063
MP	235,60	23,56	0,0167

Tabla 20. Caudal por recinto

Para evaluar la variación del caudal de gas a lo largo de la instalación, se parte de la cantidad total de FM-200 (2544 kg) calculada anteriormente y se le va restando el caudal dirigido hacia los diferentes ramales del sistema.

El caudal de gas en cada uno de los tramos de la instalación será:

Tramo	Nº	Caudal (kg/s)	Caudal (m ³ /s)
Colector principal	1	254,32	0,1808
Tubería ascendente	2	254,32	0,1808
Tubería zona central cubierta principal	3	254,32	0,1808
Tubería guardacalor	4	254,32	0,1808
Tubería espacio del guardacalor	5	254,32	0,1808
Ramal guardacalor	6	12,03	0,0085
Tubería hacia Incinerador	7	242,29	0,1722
Ramal Incinerador	8	4,08	0,0029
Tubería descendente	9	238,21	0,1693
Ramal bodegas de carga	10	190,74	0,1356
Tubería descendente sala de máquinas	11	47,47	0,0337
Ramal caldera	12	3,66	0,0026
Tubería Sala de máquinas	13	43,81	0,0311
Ramal motores auxiliares	14	7,04	0,0050
Tubería Sala de máquinas	15	36,77	0,0261
Ramal el control de máquinas	16	4,41	0,0031
Tubería Sala de máquinas	17	32,36	0,0230
Ramal la Sala de depuradoras	18	8,80	0,0063
Tubería Sala de máquinas	19	23,56	0,0167
Ramal el Motor principal	20	7,85	0,0056
Tubería Sala de máquinas	21	15,70	0,0112
Ramal el Motor Principal	22	7,85	0,0056
Tubería Sala de máquinas	23	7,85	0,0056

Tabla 21. Caudal por tramo

Área

El área se obtiene dividiendo el caudal volumétrico de gas por la velocidad con la que éste fluye por el interior del sistema.

$$Q = A \cdot V$$

$$A = \frac{Q \frac{m^3}{s}}{V \frac{m}{s}} (m^2)$$

Si se divide el caudal volumétrico entre la velocidad del gas, se obtiene las áreas en cada tramo de la instalación, cuyos valores se recogen a continuación:

Tramo	Nº	Área (m ²)	Área (mm ²)
Colector principal	1	0,0121	12050,09
Tubería ascendente	2	0,0121	12050,09
Tubería zona central cubierta principal	3	0,0121	12050,09
Tubería guardacalor	4	0,0121	12050,09
Tubería espacio del guardacalor	5	0,0121	12050,09
Ramal guardacalor	6	0,0006	569,89
Tubería hacia Incinerador	7	0,0115	11480,20
Ramal Incinerador	8	0,0002	193,41
Tubería descendente	9	0,0113	11286,79
Ramal bodegas de carga	10	0,0090	9037,57
Tubería descendente sala de máquinas	11	0,0022	2249,23
Ramal caldera	12	0,0002	173,47
Tubería Sala de máquinas	13	0,0021	2075,76
Ramal motores auxiliares	14	0,0003	333,65
Tubería Sala de máquinas	15	0,0017	1742,10
Ramal el control de máquinas	16	0,0002	208,83
Tubería Sala de máquinas	17	0,0015	1533,28
Ramal la Sala de depuradoras	18	0,0004	417,18
Tubería Sala de máquinas	19	0,0011	1116,09
Ramal el Motor principal	20	0,0004	372,10
Tubería Sala de máquinas	21	0,0007	743,99
Ramal el Motor Principal	22	0,0004	372,10
Tubería Sala de máquinas	23	0,0004	371,89

Tabla 22. Área de la sección transversal por tramo

Diámetro

El diámetro de la tubería se calcula a partir del área de la sección:

$$A = \pi \cdot r^2$$

Despejando el radio:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0.012}{\pi}}$$

$$d = 2 \cdot r$$

Utilizando la relación entre milímetros y pulgadas:

$$1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$$

En la tabla siguiente, se recoge el diámetro de cada tramo de la instalación, en milímetros y en pulgadas.

Tramo	Nº	Diámetro (mm)	Diámetro (")
Colector principal	1	123,87	5
Tubería ascendente	2	123,87	5
Tubería zona central cubierta principal	3	123,87	5
Tubería guardacalor	4	123,87	5
Tubería espacio del guardacalor	5	123,87	5
Ramal guardacalor	6	26,94	1.25
Tubería hacía Incinerador	7	120,90	5
Ramal Incinerador	8	15,69	1
Tubería descendente	9	119,88	5
Ramal bodegas de carga	10	107,27	5
Tubería descendente sala de máquinas	11	53,51	2.5
Ramal caldera	12	14,86	1
Tubería Sala de máquinas	13	51,41	2
Ramal motores auxiliares	14	20,61	1
Tubería Sala de máquinas	15	47,10	2
Ramal el control de máquinas	16	16,31	1
Tubería Sala de máquinas	17	44,18	2
Ramal la Sala de depuradoras	18	23,05	1
Tubería Sala de máquinas	19	37,70	1.5
Ramal el Motor principal	20	21,77	1
Tubería Sala de máquinas	21	30,78	1.25
Ramal el Motor Principal	22	21,77	1
Tubería Sala de máquinas	23	21,76	0.75

Tabla 23. Diámetro de las tuberías

6.3 LONGITUD EQUIVALENTE

Cada elemento incorporado en la red de distribución aumentará la longitud del tramo de tubería en función del diámetro de la misma.

Los aumentos de longitud equivalentes a las pérdidas de presión que se genera a consecuencia de estos accesorios están tabulados.

La tabla que se muestra a continuación permite entrar con el diámetro de la tubería y en función del tipo de elemento se obtiene la longitud equivalente.

Tamaño de Tubería (Pulg.)	Codo Std. 45°	Codo Std. 90°	Codo de radio de 90° y T de flujo pasante	Lado de la T	Acople de unión o válvula de compuerta
$\frac{3}{8}$	0.6	1.3	0.8	2.7	0.3
$\frac{1}{2}$	0.8	1.7	1.0	3.4	0.4
$\frac{3}{4}$	1.0	2.2	1.4	4.5	0.5
1	1.3	2.8	1.8	5.7	0.6
$1\frac{1}{4}$	1.7	3.7	2.3	7.5	0.8
$1\frac{1}{2}$	2.0	4.3	2.7	8.7	0.9
2	2.6	5.5	3.5	11.2	1.2
$2\frac{1}{2}$	3.1	6.6	4.1	13.4	1.4
3	3.8	8.2	5.1	16.6	1.8
4	5.0	10.7	6.7	21.8	2.4
5	6.3	13.4	8.4	27.4	3.0
6	7.6	16.2	10.1	32.8	3.5

Ilustración 12. Longitud equivalente para Codos y T's

Las longitudes equivalentes de cada tramo que se obtiene son:

Nº	Tramo	Diámetro (pulg)	Nº codos	Nº T	L _{codo}	L _t	Le _{codo}	LeT
1	Colector principal	5	0	0	6,7	16,8	0	0
2	Tubería ascendente	5	1	0	6,7	16,8	6,7	0
3	Tubería zona central cubierta principal	5	1	0	6,7	16,8	6,7	0
4	Tubería guardacalor	5	1	0	6,7	16,8	6,7	0
5	Tubería espacio del guardacalor	5	0	1	6,7	16,8	0	16,8
6	Ramal guardacalor	1.25	0	2	1,8	1,5	0	3
7	Tubería hacia Incinerador	5	0	1	6,7	16,8	0	16,8
8	Ramal Incinerador	1	0	2	1,4	3,5	0	7
9	Tubería descendente	5	0	1	6,7	16,8	0	16,8
10	Ramal bodegas de carga	5	0	8	6,7	16,8	0	134,4
11	Tubería descendente sala de máquinas	2.5	1	1	3,3	6,9	3,3	6,9
12	Ramal caldera	1	0	0	1,4	3,5	0	0
13	Tubería Sala de máquinas	2	0	1	2,8	6,9	0	6,9
14	Ramal motores auxiliares	1	0	3	1,4	3,5	0	10,5
15	Tubería Sala de máquinas	2	0	1	2,8	6,9	0	6,9
16	Ramal el control de máquinas	1	0	2	1,4	3,5	0	7
17	Tubería Sala de máquinas	2	0	1	2,8	6,9	0	6,9
18	Ramal la Sala de depuradoras	1	0	3	1,4	3,5	0	10,5
19	Tubería Sala de máquinas	1.5	0	1	2,1	5,4	0	5,4
20	Ramal el Motor principal	1	0	2	1,4	3,5	0	7
21	Tubería Sala de máquinas	1.25	0	1	1,8	1,5	0	1,5
22	Ramal el Motor Principal	1	0	2	1,4	3,5	0	7
23	Tubería Sala de máquinas	1	0	2	1,4	3,5	0	7

Tabla 24. Codos y T's de la red contra incendios

Nº	Tramo	Longitud (m)	Longitud pies	Diámetro	Le _{pies}	Le _m
1	Colector principal	6	19,69	5	19,69	6,00
2	Tubería ascendente	1	3,28	5	9,98	3,04
3	Tubería zona central cubierta principal	3	9,84	5	16,54	5,04
4	Tubería guardacalor	7,5	24,61	5	31,31	9,54
5	Tubería espacio del guardacalor	5	16,40	5	33,20	10,12
6	Ramal guardacalor	8	26,25	1.25	29,25	8,91
7	Tubería hacia Incinerador	4	13,12	5	29,92	9,12
8	Ramal Incinerador	4	13,12	1	20,12	6,13
9	Tubería descendente	3	9,84	5	26,64	8,12
10	Ramal bodegas de carga	125	410,10	5	544,50	165,97
11	Tubería descendente sala de máquinas	5,6	18,37	2.5	28,57	8,71
12	Ramal caldera	12	39,37	1	39,37	12,00
13	Tubería Sala de máquinas	3	9,84	2	16,74	5,10
14	Ramal motores auxiliares	9	29,53	1	40,03	12,20
15	Tubería Sala de máquinas	5	16,40	2	23,30	7,10
16	Ramal el control de máquinas	8	26,25	1	33,25	10,13
17	Tubería Sala de máquinas	3	9,84	2	16,74	5,10
18	Ramal la Sala de depuradoras	9	29,53	1	40,03	12,20
19	Tubería Sala de máquinas	3,8	12,47	1.5	17,87	5,45
20	Ramal el Motor principal	4	13,12	1	20,12	6,13
21	Tubería Sala de máquinas	3,8	12,47	1.25	13,97	4,26
22	Ramal el Motor Principal	4	13,12	1	20,12	6,13
23	Tubería Sala de máquinas	3,8	12,47	1	19,47	5,93

Tabla 25. Longitud equivalente de los tramos de la red contra incendios

6.4 PRESIONES

Los sistemas fijos contra incendios de FM-200 pueden trabajar en dos condiciones:

- Presión máxima de trabajo de 34 bar a 50°C
- Presión máxima de trabajo de 25 bar a 20°C

El sistema contra incendios planteado trabajará a baja presión, 25 bar, ya que la temperatura de los espacios a proteger es aproximadamente 20°C.

La presión de 25 bar corresponde a la presión en la que se encuentra el gas en el momento que se descarga de las botellas, pero a lo largo de la red de tuberías dicha presión va disminuyendo.

La presión disminuye en consecuencia del rozamiento del gas con la tubería y por el uso de los accesorios (codos y T's).

La norma NFPA 2001 permite determinar a través de una gráfica la pérdida de presión a lo largo de la red de tuberías mediante los valores de la longitud equivalente de los tramos obtenidos y de los caudales de flujo.

Para poder utilizar la gráfica de pérdidas de presión, es necesario calcular previamente las siguientes relaciones:

$$\frac{Q}{D^2} \frac{L}{D^{1.25}}$$

$$1 \frac{\text{lib}}{\text{min}} = 0.454 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

Donde:

$Q = \text{caudal de gas, en } \frac{\text{libras}}{\text{min}}$

$D = \text{diametro de la tubería, en pulgadas}$

$L = \text{longitud equivalente de la tubería, en pies}$

Tramo	Q(lib/min)	D(pulg)	Q/D ²	L/D ^{1.25}
1	33610,19	5	1344	2,6
2	33610,19	5	1344	1,3
3	33610,19	5	1344	2,2
4	33610,19	5	1344	4,2
5	33610,19	5	1344	4,4
6	1589,54	2	397	16,8
7	32020,65	5	1281	4,0
8	539,45	1	539	20,1
9	31481,21	5	1259	3,6
10	25207,64	4	1575	91,4
11	6273,56	2,5	1004	8,8
12	483,85	1,25	310	29,8
13	5789,72	2,5	926	5,7
14	930,63	1,5	414	27,5
15	4859,09	2,5	777	7,8
16	582,46	1,25	373	26,8
17	4276,62	2,5	684	5,7
18	1163,61	1,5	517	27,5
19	3113,01	2	778	8,1
20	1037,87	1,5	461	14,4
21	2075,14	2	519	8,1
22	1037,87	1,5	461	14,4
23	1037,27	1,5	461	14,0

Tabla 26. Caudal y diámetro

La gráfica que facilita la Norma NFPA para determinar la presión en los tramos de la red, se muestra a continuación:

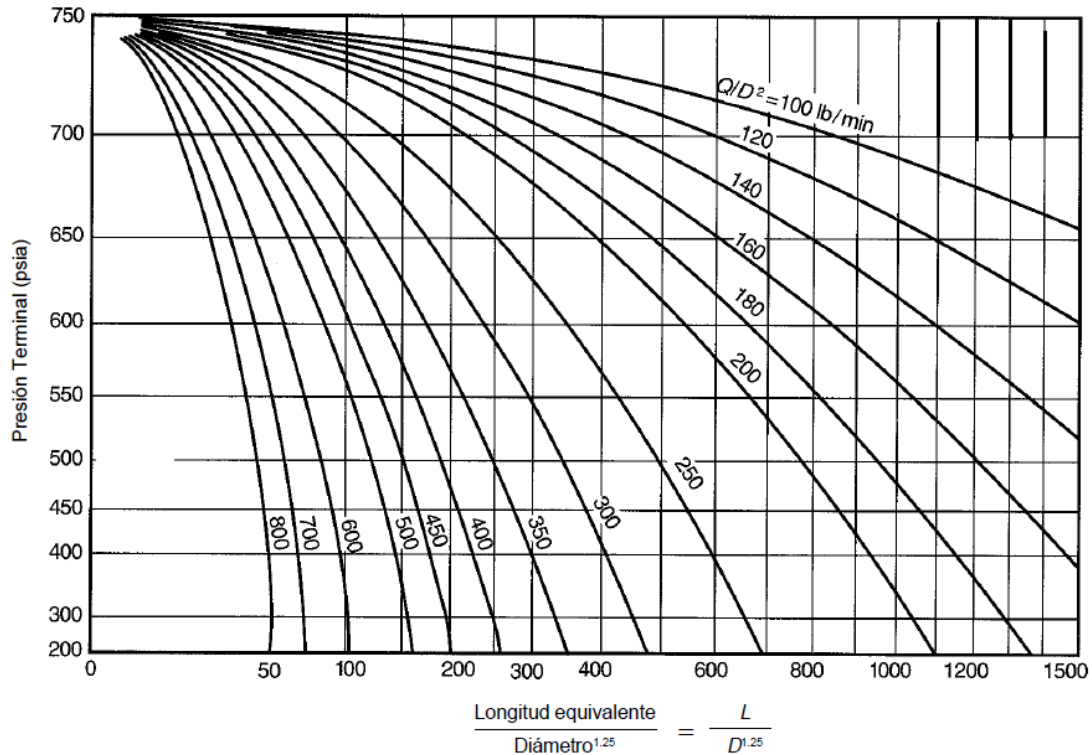


Ilustración 13. Presión tramos de la red contra incendios

Las pérdidas de presión que se genera a consecuencia tanto de la longitud de las tuberías como por el uso de los accesorios, se contemplan al utilizar las longitudes equivalentes de los tramos de la red contra incendios.

Así pues, con esta gráfica se obtiene la presión final en cada uno de los tramos en los que se ha dividido la instalación.

Se debe tener en cuenta, que si un conducto asciende o desciende en altura, la gravedad afecta en las perdidas de presión. Si el flujo circula en contra de la fuerza de gravedad pierde presión y en el caso contrario, aumenta.

Para contemplar esta variación de presión se utiliza una tabla extraída de la norma NFPA, en la cual se obtiene una corrección de presión por elevación del conducto en función de la presión promedio de la línea.

**Factores de Corrección de Elevación
para Sistemas de Baja Presión**

Presión promedio de la línea		Corrección de elevación	
psia	kPa	psi/pie	kPa
750	5171	0.352	7.96
700	4826	0.300	6.79
650	4482	0.255	5.77
600	4137	0.215	4.86
550	3792	0.177	4.00
500	3447	0.150	3.39
450	3103	0.125	2.83
400	2758	0.105	2.38
350	2413	0.085	1.92
300	2068	0.070	1.58

Ilustración 14. Corrección de presión por elevación

A continuación, se recoge en una tabla la presión inicial y final en cada uno de los tramos:

Tramo	P _{inicial}	Corrección de elevación	P _{final} (psi)	P _{final} (bar)	P _{final} (kPa)
1	362,50	0	362,50	25,00	2497,63
2	362,50	0,095	362,36	24,99	2496,66
3	362,36	0	362,23	24,98	2495,73
4	362,23	0	361,89	24,96	2493,40
5	361,89	0	361,66	24,94	2491,85
6	361,66	0	361,26	24,91	2489,10
7	361,26	0	361,08	24,90	2487,86
8	361,08	0	360,86	24,89	2486,34
9	360,86	0	360,73	24,88	2485,41
10	360,73	0	354,30	24,43	2441,14
11	354,30	0,085	354,14	24,42	2439,99
12	354,14	0	353,56	24,38	2436,00
13	353,56	0	353,42	24,37	2435,07
14	353,42	0	352,98	24,34	2432,00
15	352,98	0	352,75	24,33	2430,45
16	352,75	0	352,35	24,30	2427,69
17	352,35	0	352,22	24,29	2426,76
18	352,22	0	351,77	24,26	2423,70
19	351,77	0	351,60	24,25	2422,52
20	351,60	0	351,42	24,24	2421,28
21	351,42	0	351,25	24,22	2420,10
22	351,25	0	351,07	24,21	2418,86
23	351,07	0	350,90	24,20	2417,68

Tabla 27. Presión final en los tramos de la red contra incendios

6.5 DIFUSORES DE DESCARGA

Los difusores de descarga son los elementos de un sistema contra incendios por los que se descarga el gas extintor para combatir el fuego.

La norma NFPA 2001 indica que el área de cobertura debe cumplir con lo que se indica en la IMO MSC/Circular 848. En dicha circular, se extrae que los difusores de descarga utilizados para combatir fuegos de combustibles (Tipo B) deben cubrir una área máxima de 25 metros cuadrados.

Así pues, la cantidad de difusores de descarga necesarios dependerá del área de los recintos.

Espacio	Área	Nº Difusores
Guardacalor	26	3
Incinerador	30	2
Caldera	25	1
Control	35	2
MA	48	2
Purificadoras	64	3
MP	84	6
Bodega	230	15

Tabla 28. Número de difusores

Una vez determinada la cantidad de difusores imprescindibles, se debe calcular el área de los mismos. Para ello, se hace uso de la norma NFPA 2001, en la cual se extrae la siguiente expresión:

$$A_{Difusor} = \frac{Q_{Difusor}}{F_d}$$

Donde:

$A_{Difusor}$ corresponde a la área de las boquillas, en pulgadas².

$Q_{Difusor}$ corresponde al caudal del difusor, en $\frac{\text{libras}}{\text{min}}$

F_d corresponde a la velocidad de descarga del gas, en $\frac{\text{libras}}{\text{min. in}^2}$

El factor de descarga, F_d o velocidad de descarga, depende de la presión en la línea. Dicho factor se obtiene a partir de una tabla proporcionada por la norma NFPA.

**Velocidad de Descarga por Pulgada Cuadrada de Area
Equivalente de Orificio para Almacenamiento a Baja Presión**

Presión en el Orificio		Velocidad de Descarga	
psia	kPa	lb/min·in. ²	kg/min·mm ²
750	5171	4630	3.258
725	4999	3845	2.706
700	4826	3415	2.403
675	4654	3090	2.174
650	4481	2835	1.995
625	4309	2615	1.840
600	4137	2425	1.706
575	3964	2260	1.590
550	3792	2115	1.488
525	3620	1985	1.397
500	3447	1860	1.309
475	3275	1740	1.224
450	3103	1620	1.140
425	2930	1510	1.063
400	2758	1400	0.985
375	2586	1290	0.908
350	2413	1180	0.830
325	2241	1080	0.760
300	2068	980	0.690

Ilustración 15. Factor de descarga en función de la presión

El factor de descarga o velocidad de descarga correspondiente a los diferentes ramales de la instalación se adjuntan a continuación:

Ramal	Presión (psi)	Factor de Descarga
Guardacalor	361,26	1230
Incinerador	360,86	1228
Caldera	353,56	1196
Control	352,35	1190
MA	352,98	1193
Purificadoras	351,77	1188
MP	351,42	1186
Bodegas	354,53	1199

Tabla 29. Factor de descarga por recintos

Para obtener el caudal de cada difusor, se debe dividir el caudal destinado a los distintos espacios por el número de difusores instalados en los mismos.

Espacio	Caudal (lib/min)	Nº Difusores	Caudal/difusor (lib/min)
Guardacalor	1589,54	3	529,85
Incinerador	539,45	2	269,72
Caldera	483,85	1	483,85
Control	582,46	2	291,23
MA	930,63	2	465,31
Purificadoras	1163,61	3	387,87
MP	3113,61	6	518,45
Bodega	25207,64	15	1680,51

Tabla 30. Caudal de los difusores

Una vez determinado el factor de descarga y el caudal de cada difusor en función del recinto en los que están instalados, se calcula el diámetro de los difusores de descarga.

Espacio	Caudal/difusor (lib/min)	Factor de Descarga	Área (pulg ²)	Diámetro (pulg)
Guardacalor	529,85	1230	0,431	0,741
Incinerador	269,72	1228	0,220	0,529
Caldera	483,85	1196	0,405	0,718
Control	291,23	1190	0,245	0,558
MA	465,31	1193	0,260	0,575
Purificadoras	387,87	1188	0,326	0,645
MP	518,45	1186	0,437	0,746
Bodega	1680,51	1199	1,402	1,336

Tabla 31. Diámetro de los difusores

Espacio	Área (mm ²)	Diámetro (mm)
Guardacalor	277,91	18,81
Incinerador	141,70	13,43
Caldera	261,002	18,23
Control	157,892	14,18
MA	167,758	14,61
Purificadoras	210,639	16,38
MP	283,72	19,01
Bodega	904,251	33,93

Tabla 32. Diámetro de los difusores

6.6 PRECIO

ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN FM 200						
ELEMENTO	Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Nº	m	€/UNIDAD	TOTAL
Tubería (sch 40)	127	5		29,5	55,3	1631,35
Tubería (sch 40)	101,6	4		125	40,84	5105
Tubería (sch 40)	63,5	2,5		16,6	24,02	398,732
Tubería (sch 40)	50,8	2		15,6	14,5	226,2
Tubería (sch 40)	38,1	1,5		29,8	11,77	350,746
Tubería (sch 40)	31,75	1,25		20	10,67	213,4
Tubería (sch 40)	25,4	1		4	8,48	33,92
Soporte tubería	127	5	9		63,24	569,16
Soporte tubería	101,6	4	30		42,71	1281,3
Soporte tubería	63,5	2,5	5		30	150
Soporte tubería	50,8	2	7		20,76	145,32
Soporte tubería	38,1	1,5	14		18,6	260,4
Soporte tubería	31,75	1,25	10		18,6	186
Soporte tubería	25,4	1	2		15,38	30,76
Codos	127	5	3		51,76	155,28
Codos	63,5	2,5	1		13,24	13,24
T	127	5	3		93,22	279,66
T	101,6	4	8		56,52	452,16
T	63,5	2,5	4		28,09	112,36
T	50,8	2	4		18,13	72,52
T	38,1	1,5	12		15,22	182,64
T	31,75	1,25	2		12,57	25,14
T	25,4	1	2		10,17	20,34
Difusores	18,81	0,74	3		16,2	48,6
Difusores	13,43	0,53	2		14,55	29,1
Difusores	33,93	1,34	150		36,56	5484
Difusores	18,23	0,72	1		16,2	16,2
Difusores	14,61	0,58	3		14,55	43,65
Difusores	14,18	0,56	2		14,55	29,1
Difusores	16,38	0,64	3		16,2	48,6
Difusores	18,94	0,75	6		16,2	97,2
Detectores de humo			32		33,81	1081,92
Detectores de Calor			58		29,25	1696,5
Pulsadores de Alarma			16		10,87	173,92
Botellas de FM200 (120l)		3 Baterías de 13 botellas de 67l	1		16245	48734,73
Soportes de Botellas			39		53,59	2090,01
					Σ	71469

Tabla 33. Precio instalación FM-200

7. INSTALACIÓN DE FE-13

7.1 CÁLCULO CANTIDAD DE AGENTE EXTINTOR

Para determinar la cantidad necesaria de agente extintor FE-13 para abastecer el volumen neto calculado anteriormente, se consulta el *Capítulo 7: Agente Extintor* de la Norma UNE 15004-1:2008, en el cual indica el procedimiento mediante la fórmula siguiente:

$$Q = \left(\frac{c}{100 - c} \right) \cdot \frac{V}{s}$$

Donde:

- Q corresponde a la cantidad total de agente extintor a una temperatura determinada, en kilogramos (kg)
- C corresponde a la concentración de diseño, en porcentaje de volumen (%)
- V corresponde al volumen de la zona de riesgo a proteger, en metro cúbicos (m^3)
- S corresponde al volumen específico a una presión de 1.013 bar, en metro cúbicos (m^3)

La concentración de diseño corresponde a la máxima concentración de agente extintor en la que no ha habido ningún efecto adverso fisiológico o tóxico y su valor varía en función del tipo de fuego al que se pretende luchar.

En situación de incendio, se pueden ocasionar diferentes tipos de fuego, Clase A y Clase B. Para realizar el cálculo se escoge la concentración de diseño más restrictiva, es decir, la correspondiente a los fuegos de tipo B (combustibles).

La concentración de diseño para fuegos de tipo B del FE-13 es del 16.4%.

El volumen específico del FM-200 varía en función de la temperatura y de unas constantes del gas y se puede calcular de forma aproximada mediante la fórmula:

$$S = K_1 + K_2 T$$

Donde:

- $K_1 = 0.3164$
- $K_2 = 0.0012$
- $Temperatura\ en\ la\ zona\ de\ riesgo = 25^\circ C$

$$S = 0.3164 + 0.0012 \cdot 25$$

$$S = 0.349$$

$$Q = \left(\frac{16.4}{100 - 16.4} \right) \cdot \frac{3600}{0.346}$$

$$Q = 2041\ kg\ de\ FE - 13$$

Se necesitará 2041 kg de agente extintor FE-13 para proteger simultáneamente la Sala de Máquinas y la bodega de Carga N° 8.

7.2 DIÁMETROS TUBERÍAS

En este apartado, se dimensionará el conjunto de tuberías que forman el sistema de contra incendios de FE-13.

El diámetro de un conducto se puede deducir si se conoce el valor del área de la sección transversal de dicho conducto.

Es posible determinar el área de una tubería utilizando la ecuación de continuidad.

La ecuación de continuidad relaciona el caudal, el área y la velocidad del fluido en una en un conducto y su expresión es:

$$Q = A \cdot V$$

Donde,

- Q corresponde al caudal que circula por el interior de la tubería, en $\frac{m^3}{s}$
- A corresponde al área de la sección transversal de la tubería, en m^2
- V corresponde a la velocidad del fluido por el interior de la tubería, en $\frac{m}{s}$

La red contra incendios estará formada por diversas tuberías cuyos diámetros serán distintos a consecuencia de la división del flujo que circulará en su interior.

Por lo tanto, se aplicará la expresión anterior en cada uno de los tramos determinados en el apartado 5.2 Red de tuberías obteniendo así, el diámetro a lo largo de la red.

Velocidad

La velocidad del gas por el interior de la red de tuberías, se obtiene relacionando la longitud de tubería más larga por la cual debe circular por el tiempo en el que debe llegar a los difusores de descarga.

La distancia máxima de tubería corresponde al tramo dirigido hacia las bodegas de carga (tramo 10), el gas deberá recorrer 150 metros.

Se considera que el gas debe llegar a la descarga de aquellos difusores que se encuentren más alejados del local de botellas de gas en un tiempo máximo de 10 segundos.

Por lo tanto, relacionando la distancia máxima con el tiempo, se obtiene:

$$V = \frac{\text{Distancia (m)}}{\text{Tiempo (s)}}$$

$$V = \frac{150 \text{ m}}{10 \text{ s}}$$

$$V = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Caudal

El caudal es el volumen de fluido que circula por el interior de una tubería por unidad de tiempo.

A medida que el fluido avanza por la tubería, cierta cantidad de agente extintor se dirige hacia los diferentes ramales, lo que implica que el caudal de FE-13 va variando.

Para evaluar la variación del caudal a lo largo de la instalación, es necesario calcular previamente la cantidad de agente extintor destinado a cada uno de los espacios a proteger.

Para ello, se utiliza la expresión extraída del *Capítulo 7: Agente Extintor* de la Norma UNE 15004-1:2008, la cual relaciona la cantidad de agente extintor necesario para extinguir el fuego en función del volumen a proteger.

$$Q = \left(\frac{c}{100 - c} \right) \cdot \frac{V}{s}$$

Donde:

- Q corresponde a la cantidad total de agente extintor a una temperatura determinada, en kilogramos (kg)

- C corresponde a la concentración de diseño, en porcentaje de volumen (%)
- V corresponde al volumen de la zona de riesgo a proteger, en metro cúbicos (m^3)
- s corresponde al volumen específico a una presión de 1.013 bar, en metro cúbicos(m^3)

La concentración de diseño y el volumen específico del gas ya han sido calculados anteriormente en el apartado 7.1 *cálculo de cantidad de agente extintor* y éstos no varían.

Se substituyendo el volumen neto de cada recinto en la formula anterior, se obtiene:

Recinto	Volumen Neto (m^3)	Cantidad de agente (kg)
Guardacalor	170,26	95,70
Incinerador	57,78	32,48
Bodegas	2700,00	1517,66
Caldera	51,83	29,13
Control	62,39	35,07
MA	99,68	56,03
Purificadoras	124,64	70,06
MP	333,50	187,46

Tabla 34. Cantidad de agente extintor FE 13 para cada recinto

Tal como indican las normativas NFPA 2001 y la UNE 15004-1, el tiempo máximo de descarga del agente extintor para poder combatir el fuego en caso de incendio, debe ser de 10 segundos.

Por lo tanto, el caudal que circula por el interior de los ramales se obtiene dividiendo la cantidad de agente extintor por el tiempo de descarga.

$$Caudal = \frac{Cantidad_{FM} - 200 (Kg)}{Tiempo_{descarga} (s)}$$

Para poder substituir el caudal en la ecuación de continuidad, éste debe estar en unidades de metro cúbico por segundo, por lo que se hace la conversión mediante la densidad del FE-13, la cual es:

$$Densidad_{FE-13} = 807 \frac{kg}{m^3}$$

Recinto	Cantidad de agente (kg)	Caudal (kg/s)	Caudal (m ³ /s)
Guardacalor	95,70	9,57	0,0068
Incinerador	32,48	3,25	0,0023
Bodegas	1517,66	151,77	0,1079
Caldera	29,13	2,91	0,0021
Control	35,07	3,51	0,0025
MA	56,03	5,60	0,0040
Purificadoras	70,06	7,01	0,0050
MP	187,46	18,75	0,0133

Tabla 35. Caudal por recinto

Para evaluar la variación del caudal de gas a lo largo de la instalación, se parte de la cantidad total de FE-13 (2024 kg) calculada anteriormente y se le va restando el caudal dirigido hacia los diferentes ramales del sistema.

El caudal de gas en cada uno de los tramos de la instalación será:

Tramo	Nº	Caudal (kg/s)	Caudal (m ³ /s)
Colector principal	1	202,36	0,2508
Tubería ascendente	2	202,36	0,2508
Tubería zona central cubierta principal	3	202,36	0,2508
Tubería guardacalor	4	202,36	0,2508
Tubería espacio del guardacalor	5	202,36	0,2508
Ramal guardacalor	6	9,57	0,0119
Tubería hacia Incinerador	7	192,79	0,2389
Ramal Incinerador	8	3,25	0,0040
Tubería descendente	9	189,54	0,2349
Ramal bodegas de carga	10	151,77	0,1881
Tubería descendente sala de máquinas	11	37,77	0,0468
Ramal caldera	12	2,91	0,0036
Tubería Sala de máquinas	13	34,86	0,0432
Ramal motores auxiliares	14	5,60	0,0069
Tubería Sala de máquinas	15	29,25	0,0363
Ramal el control de máquinas	16	3,51	0,0043
Tubería Sala de máquinas	17	25,75	0,0319
Ramal la Sala de depuradoras	18	7,01	0,0087
Tubería Sala de máquinas	19	18,74	0,0232
Ramal el Motor principal	20	6,25	0,0077
Tubería Sala de máquinas	21	12,49	0,0155
Ramal el Motor Principal	22	6,2	0,0077
Tubería Sala de máquinas	23	6,25	0,0077

Tabla 36.Caudal por tramo

Área

El área se obtiene dividiendo el caudal volumétrico de gas por la velocidad con la que éste fluye por el interior del sistema.

$$Q = A \cdot V$$

$$A = \frac{Q \frac{m^3}{s}}{V \frac{m}{s}} (m^2)$$

Si se divide el caudal volumétrico entre la velocidad del gas, se obtiene las áreas en cada tramo de la instalación, cuyos valores se recogen a continuación:

Tramo	Nº	Área(m ²)	Área(mm ²)
Colector principal	1	0,0167	16716,67
Tubería ascendente	2	0,0167	16716,67
Tubería zona central cubierta principal	3	0,0167	16716,67
Tubería guardacalor	4	0,0167	16716,67
Tubería espacio del guardacalor	5	0,0167	16716,67
Ramal guardacalor	6	0,0008	790,59
Tubería hacia Incinerador	7	0,0159	15926,09
Ramal Incinerador	8	0,0003	268,30
Tubería descendente	9	0,0157	15657,78
Ramal bodegas de carga	10	0,0125	12537,50
Tubería descendente sala de máquinas	11	0,0031	3120,28
Ramal caldera	12	0,0002	240,65
Tubería Sala de máquinas	13	0,0029	2879,63
Ramal motores auxiliares	14	0,0005	462,87
Tubería Sala de máquinas	15	0,0024	2416,76
Ramal el control de máquinas	16	0,0003	289,70
Tubería Sala de máquinas	17	0,0021	2127,06
Ramal la Sala de depuradoras	18	0,0006	578,75
Tubería Sala de máquinas	19	0,0015	1548,31
Ramal el Motor principal	20	0,0005	516,20
Tubería Sala de máquinas	21	0,0010	1032,11
Ramal el Motor Principal	22	0,0005	516,20
Tubería Sala de máquinas	23	0,0005	515,91

Tabla 37. Área de la sección transversal por tramo

Diámetro

El diámetro de la tubería se calcula a partir del área de la sección:

$$A = \pi \cdot r^2$$

Despejando el radio:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0.012}{\pi}}$$

$$d = 2 \cdot r$$

Utilizando la relación entre milímetros y pulgadas:

$$1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$$

En la tabla siguiente, se recoge el diámetro de cada tramo de la instalación, en milímetros y en pulgadas.

Tramo	Nº	Diámetro (mm)	Diámetro (")
Colector principal	1	145,89	6
Tubería ascendente	2	145,89	6
Tubería zona central cubierta principal	3	145,89	6
Tubería guardacalor	4	145,89	6
Tubería espacio del guardacalor	5	145,89	6
Ramal guardacalor	6	31,73	1,25
Tubería hacia Incinerador	7	142,40	6
Ramal Incinerador	8	18,48	1
Tubería descendente	9	141,20	6
Ramal bodegas de carga	10	126,35	6
Tubería descendente sala de máquinas	11	63,03	2.5
Ramal caldera	12	17,50	1
Tubería Sala de máquinas	13	60,55	2.5
Ramal motores auxiliares	14	24,28	1
Tubería Sala de máquinas	15	55,47	2.5
Ramal el control de máquinas	16	19,21	1
Tubería Sala de máquinas	17	52,04	2
Ramal la Sala de depuradoras	18	27,15	1
Tubería Sala de máquinas	19	44,40	2
Ramal el Motor principal	20	25,64	1
Tubería Sala de máquinas	21	36,25	1.5
Ramal el Motor Principal	22	25,64	1
Tubería Sala de máquinas	23	25,63	1

Tabla 38. Diámetro de las tuberías

7.3 LONGITUD EQUIVALENTE

Cada elemento incorporado en la red de distribución aumentará la longitud del tramo de tubería en función del diámetro de la misma.

Los aumentos de longitud equivalentes a las pérdidas de presión que se genera a consecuencia de estos accesorios están tabulados.

La tabla que se muestra a continuación permite entrar con el diámetro de la tubería y en función del tipo de elemento se obtiene la longitud equivalente.

Tamaño de Tubería (Pulg.)	Codo Std. 45°	Codo Std. 90°	Codo de radio de 90° y T de flujo pasante	Lado de la T	Acople de unión o válvula de compuerta
$\frac{3}{8}$	0.6	1.3	0.8	2.7	0.3
$\frac{1}{2}$	0.8	1.7	1.0	3.4	0.4
$\frac{3}{4}$	1.0	2.2	1.4	4.5	0.5
1	1.3	2.8	1.8	5.7	0.6
$1\frac{1}{4}$	1.7	3.7	2.3	7.5	0.8
$1\frac{1}{2}$	2.0	4.3	2.7	8.7	0.9
2	2.6	5.5	3.5	11.2	1.2
$2\frac{1}{2}$	3.1	6.6	4.1	13.4	1.4
3	3.8	8.2	5.1	16.6	1.8
4	5.0	10.7	6.7	21.8	2.4
5	6.3	13.4	8.4	27.4	3.0
6	7.6	16.2	10.1	32.8	3.5

Ilustración 16. Longitud equivalente para Codos y T's

Las longitudes equivalentes de cada tramo que se obtiene son:

Nº	Tramo	Diámetro (pulg)	Nº codos	Nº T	L _{codo}	L _t	Le _{codo}	LeT
1	Colector principal	6	0	0	8,1	20,2	0	0
2	Tubería ascendente	6	1	0	8,1	20,2	8,1	0
3	Tubería zona central cubierta principal	6	1	0	8,1	20,2	8,1	0
4	Tubería guardacalor	6	1	0	8,1	20,2	8,1	0
5	Tubería espacio del guardacalor	6	0	1	8,1	20,2	0	20,2
6	Ramal guardacalor	2	0	2	1,8	4,6	0	9,2
7	Tubería hacia Incinerador	6	0	1	8,1	20,2	0	20,2
8	Ramal Incinerador	1,25	0	2	1,4	3,5	0	7
9	Tubería descendente	5	0	1	8,1	20,2	0	20,2
10	Ramal bodegas de carga	4	0	8	8,1	20,2	0	161, 6
11	Tubería descendente sala de máquinas	3	1	1	3,3	8,2	3,3	8,2
12	Ramal caldera	1,25	0	0	1,4	3,5	0	0
13	Tubería Sala de máquinas	3	0	1	3,3	8,2	0	8,2
14	Ramal motores auxiliares	1,5	0	3	1,4	3,5	0	10,5
15	Tubería Sala de máquinas	3	0	1	3,3	8,2	0	8,2
16	Ramal el control de máquinas	1,25	0	2	1,4	3,5	0	7
17	Tubería Sala de máquinas	2,5	0	1	2,8	6,9	0	6,9
18	Ramal la Sala de depuradoras	1,5	0	3	1,4	3,5	0	10,5
19	Tubería Sala de máquinas	2,5	0	1	2,8	6,9	0	6,9
20	Ramal el Motor principal	1,5	0	2	1,4	3,5	0	7
21	Tubería Sala de máquinas	2	0	1	2,1	5,4	0	5,4
22	Ramal el Motor Principal	1,5	0	2	1,4	3,5	0	7
23	Tubería Sala de máquinas	1,5	0	2	1,4	3,5	0	7

Tabla 39. Codos y T's de la red contra incendios

Nº	Tramo	Longitud (m)	Longitud pies	Diámetro	Le _{pies}	Le _m
1	Colector principal	6	19,69	6	19,69	6,00
2	Tubería ascendente	1	3,28	6	11,38	3,47
3	Tubería zona central cubierta principal	3	9,84	6	17,94	5,47
4	Tubería guardacalor	7,5	24,61	6	32,71	9,97
5	Tubería espacio del guardacalor	5	16,40	6	36,60	11,16
6	Ramal guardacalor	8	26,25	1,25	35,45	10,80
7	Tubería hacia Incinerador	4	13,12	6	33,32	10,16
8	Ramal Incinerador	4	13,12	1	20,12	6,13
9	Tubería descendente	3	9,84	6	30,04	9,16
10	Ramal bodegas de carga	125	410,10	6	571,70	174,26
11	Tubería descendente sala de máquinas	5,6	18,37	2,5	29,87	9,11
12	Ramal caldera	12	39,37	1	39,37	12,00
13	Tubería Sala de máquinas	3	9,84	2,5	18,04	5,50
14	Ramal motores auxiliares	9	29,53	1	40,03	12,20
15	Tubería Sala de máquinas	5	16,40	2,5	24,60	7,50
16	Ramal el control de máquinas	8	26,25	1	33,25	10,13
17	Tubería Sala de máquinas	3	9,84	2	16,74	5,10
18	Ramal la Sala de depuradoras	9	29,53	1	40,03	12,20
19	Tubería Sala de máquinas	3,8	12,47	2	19,37	5,90
20	Ramal el Motor principal	4	13,12	1	20,12	6,13
21	Tubería Sala de máquinas	3,8	12,47	1,5	17,87	5,45
22	Ramal el Motor Principal	4	13,12	1	20,12	6,13
23	Tubería Sala de máquinas	3,8	12,47	1	19,47	5,93

Tabla 40. Longitud equivalente de los tramos de la red contra incendios

7.4 PRESIONES

Los sistemas fijos contra incendios de FE-13 pueden trabajar en dos condiciones:

- Presión máxima de trabajo de 137 bar a 50°C
- Presión máxima de trabajo de 42 bar a 20°C

El sistema contra incendios planteado trabajará a baja presión, 42bar, ya que la temperatura de los espacios a proteger es aproximadamente 20°C.

La presión de 42bar corresponde a la presión en la que se encuentra el gas en el momento que se descarga de las botellas, pero a lo largo de la red de tuberías dicha presión va disminuyendo.

La presión disminuye en consecuencia del rozamiento del gas con la tubería y por el uso de los accesorios (codos y T's).

La norma NFPA 2001 permite determinar a través de una gráfica la pérdida de presión a lo largo de la red de tuberías mediante los valores de la longitud equivalente de los tramos obtenidos y de los caudales de flujo.

Para poder utilizar la gráfica de pérdidas de presión, es necesario calcular previamente las siguientes relaciones:

$$\frac{Q}{D^2} \frac{L}{D^{1.25}}$$

$$1 \frac{\text{lib}}{\text{min}} = 0.454 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

Donde:

$$Q = \text{caudal de gas, en } \frac{\text{libras}}{\text{min}}$$

$$D = \text{diámetro de la tubería, en pulgadas}$$

$$L = \text{longitud equivalente de la tubería, en pies}$$

Tramo	Q(lib/min)	D(pulg)	Q/D2	L/D1.25
1	26742,99	6	19,69	743
2	26742,99	6	11,38	743
3	26742,99	6	17,94	743
4	26742,99	6	32,71	743
5	26742,99	6	36,60	743
6	1264,77	2	40,05	316
7	25478,23	6	33,32	708
8	429,23	1,25	22,32	275
9	25049,00	5	26,14	1002
10	20057,25	4	517,30	1254
11	4991,75	3	32,37	555
12	384,99	1,25	39,37	246
13	4606,77	3	20,04	512
14	740,48	1,5	45,73	329
15	3866,28	3	26,60	430
16	463,46	1,25	35,45	297
17	3402,83	2,5	14,44	544
18	925,86	1,5	45,73	411
19	2476,96	2,5	20,67	396
20	825,81	1,5	23,92	367
21	1651,15	2	19,37	413
22	825,81	1,5	23,92	367
23	825,33	1,5	23,27	367

Tabla 41.Caudal y diámetro

La gráfica que facilita la Norma NFPA para determinar la presión en los tramos de la red, se muestra a continuación:

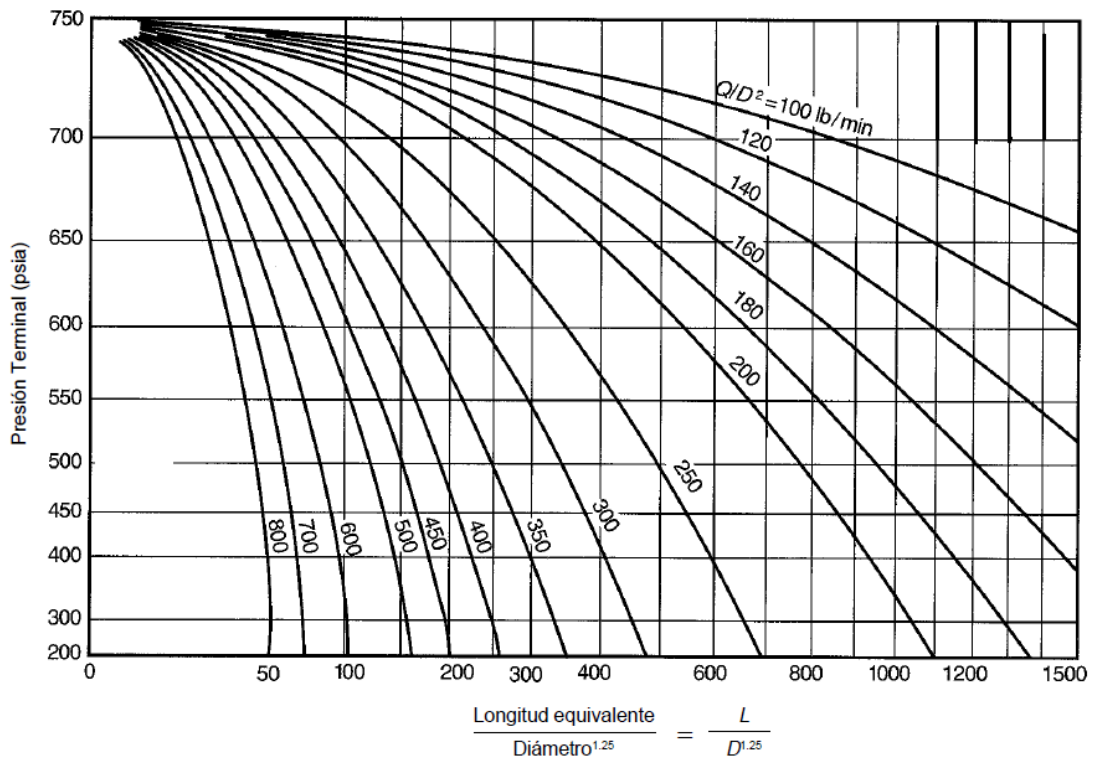


Ilustración 17. Presión tramos de la red contra incendios

Las pérdidas de presión que se genera a consecuencia tanto de la longitud de las tuberías y como por el uso de los accesorios, se contemplan al utilizar las longitudes equivalentes de los tramos de la red contra incendios.

Así pues, con esta gráfica se obtiene la presión final en cada uno de los tramos en los que se ha dividido la instalación.

Se debe tener en cuenta, que si un conducto asciende o desciende en altura, la gravedad afecta en las pérdidas de presión. Si el flujo circula en contra de la fuerza de gravedad pierde presión y en el caso contrario, aumenta.

Para contemplar esta variación de presión se utiliza una tabla extraída de la norma NFPA, en la cual se obtiene una corrección de presión por elevación del conducto en función de la presión promedio de la línea.

**Factores de Corrección de Elevación
para Sistemas de Baja Presión**

Presión promedio de la línea		Corrección de elevación	
psia	kPa	psi/pie	kPa
750	5171	0.352	7.96
700	4826	0.300	6.79
650	4482	0.255	5.77
600	4137	0.215	4.86
550	3792	0.177	4.00
500	3447	0.150	3.39
450	3103	0.125	2.83
400	2758	0.105	2.38
350	2413	0.085	1.92
300	2068	0.070	1.58

Ilustración 18. . Corrección de presión por elevación

A continuación, se recoge en una tabla la presión inicial y final en cada uno de los tramos:

Tramo	P _{inicial}	Corrección de elevación	P _{final} (psi)	P _{final} (bar)	P _{final} (kPa)
1	609,00	0	609,00	42,00	4196,01
2	609,00	0,095	608,83	41,99	4194,80
3	608,83	0	608,59	41,97	4193,15
4	608,59	0	607,99	41,93	4189,02
5	607,99	0	607,59	41,90	4186,26
6	607,59	0	606,91	41,86	4181,58
7	606,91	0	606,59	41,83	4179,37
8	606,59	0	606,23	41,81	4176,89
9	606,23	0	605,99	41,79	4175,24
10	605,99	0	595,19	41,05	4100,82
11	595,19	0,085	594,82	41,02	4098,32
12	594,82	0	593,82	40,95	4091,43
13	593,82	0	593,58	40,94	4089,78
14	593,58	0	592,82	40,88	4084,54
15	592,82	0	592,42	40,86	4081,79
16	592,42	0	591,74	40,81	4077,10
17	591,74	0	591,50	40,79	4075,45
18	591,50	0	590,74	40,74	4070,21
19	590,74	0	590,44	40,72	4068,12
20	590,44	0	590,12	40,70	4065,91
21	590,12	0	589,81	40,68	4063,82
22	589,81	0	589,49	40,65	4061,61
23	351,07	0	350,90	24,20	2417,68

Tabla 42. Presión final en los tramos de la red contra incendios

7.5 DIFUSORES DE DESCARGA

Los difusores de descarga son los elementos de un sistema contra incendios por los que se descarga el gas extintor para combatir el fuego.

La norma NFPA 2001 indica que el área de cobertura debe cumplir con lo que se indica en la IMO MSC/Circular 848. En dicha circular, se extrae que los difusores de descarga utilizados para combatir fuegos de combustibles (Tipo B) deben cubrir un área máxima de 25 metros cuadrados.

Así pues, la cantidad de difusores de descarga necesarios dependerá del área de los recintos.

Espacio	Área	Nº Difusores
Guardacalor	26	3
Incinerador	30	2
Caldera	25	1
Control	35	2
MA	48	2
Purificadoras	64	3
MP	84	6
Bodega	230	15

Tabla 43. Número de difusores

Una vez determinada la cantidad de difusores imprescindibles, se debe calcular el área de los mismos. Para ello, se hace uso de la norma NFPA 2001, en la cual se extrae la siguiente expresión:

$$A_{Difusor} = \frac{Q_{Difusor}}{F_d}$$

Donde:

$A_{Difusor}$ corresponde a la área de las boquillas, en pulgadas².

$Q_{Difusor}$ corresponde al caudal del difusor, en $\frac{\text{libras}}{\text{min}}$

F_d corresponde a la velocidad de descarga del gas, en $\frac{\text{libras}}{\text{min} \cdot \text{in}^2}$

El factor de descarga, F_d o velocidad de descarga, depende de la presión en la línea. Dicho factor se obtiene a partir de una tabla proporcionada por la norma NFPA.

**Velocidad de Descarga por Pulgada Cuadrada de Area
Equivalente de Orificio para Almacenamiento a Baja Presión**

Presión en el Orificio		Velocidad de Descarga	
psia	kPa	lb/min·in. ²	kg/min·mm ²
750	5171	4630	3.258
725	4999	3845	2.706
700	4826	3415	2.403
675	4654	3090	2.174
650	4481	2835	1.995
625	4309	2615	1.840
600	4137	2425	1.706
575	3964	2260	1.590
550	3792	2115	1.488
525	3620	1985	1.397
500	3447	1860	1.309
475	3275	1740	1.224
450	3103	1620	1.140
425	2930	1510	1.063
400	2758	1400	0.985
375	2586	1290	0.908
350	2413	1180	0.830
325	2241	1080	0.760
300	2068	980	0.690

Ilustración 19. Factor de descarga en función de la presión

El factor de descarga o velocidad de descarga correspondiente a los diferentes ramales de la instalación se adjuntan a continuación:

Ramal	Presión (psi)	Factor de Descarga
Guardacalor	607	2516
Incinerador	606	2500
Caldera	594	2405
Control	592	2378
MA	593	2392
Purificadoras	591	2365
MP	590	2359
Bodegas	595	2455

Tabla 44. Factor de descarga por recintos

Para obtener el caudal de cada difusor, se debe dividir el caudal destinado a los distintos espacios por el número de difusores instalados en los mismos.

Espacio	Caudal(lib/min)	Nº Difusores	Caudal/difusor (lib/min)
Guardacalor	1264,77	3	421,59
Incinerador	429,23	2	214,61
Caldera	384,99	1	384,99
Control	740,48	2	370,24
MA	463,46	2	231,73
Purificadoras	925,86	3	308,62
MP	2477,44	6	412,91
Bodega	20057,25	15	1337,15

Tabla 45.Caudal de los difusores

Una vez determinado el factor de descarga y el caudal de cada difusor en función del recinto en los que están instalados, se calcula el diámetro de los difusores de descarga.

Espacio	Caudal/difusor (lib/min)	Factor de Descarga	Área (pulg ²)	Diámetro (pulg)
Guardacalor	421,59	2516	0,168	0,462
Incinerador	214,61	2500	0,086	0,331
Caldera	384,99	2405	0,160	0,451
Control	370,24	2392	0,155	0,444
MA	231,73	2378	0,097	0,352
Purificadoras	308,62	2365	0,130	0,408
MP	412,91	2359	0,175	0,472
Bodega	1337,15	2455	0,54	0,83

Tabla 46. Diámetro de los difusores

Espacio	Área (mm ²)	Diámetro (mm)
Guardacalor	108,10	11,73
Incinerador	55,38	8,40
Caldera	103,28	11,47
Control	99,86	11,28
MA	62,87	8,95
Purificadoras	84,19	10,35
MP	112,93	11,99
Bodega	351,40	21,15

Tabla 47. Diámetro de los difusores

7.6 PRECIO

ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN FE- 13						
ELEMENTO	Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Nº	m	€/UNIDAD	TOTAL
Tubería (sch 40)	152,4	6		26,5	78,65	2084,225
Tubería (sch 40)	127	5		3	55,3	165,9
Tubería (sch 40)	101,6	4		125	40,84	5105
Tubería (sch 40)	76,2	3		13,6	28,7	390,32
Tubería (sch 40)	63,5	2,5		6,8	24,02	163,336
Tubería (sch 40)	50,8	2		11,8	14,5	171,1
Tubería (sch 40)	38,1	1,5		29,8	11,77	350,746
Tubería (sch 40)	31,75	1,25		24	10,67	256,08
Soporte tubería	152,4	6	7		63,24	442,68
Soporte tubería	127	5	1		63,24	63,24
Soporte tubería	101,6	4	30		42,71	1281,3
Soporte tubería	76,2	3	4		38,51	154,04
Soporte tubería	63,5	2,5	3		30	90
Soporte tubería	50,8	2	5		20,76	103,8
Soporte tubería	38,1	1,5	14		18,6	260,4
Soporte tubería	31,75	1,25	12		18,6	223,2
Codos	127	6	3		62,6	187,8
Codos	63,5	3	1		14,16	14,16
T	152,4	6	2		124,35	248,7
T	127	5	1		93,22	93,22
T	101,6	4	8		56,52	452,16
T	76,2	3	3		39,04	117,12
T	63,5	2,5	2		28,09	56,18
T	50,8	2	3		18,13	54,39
T	38,1	1,5	12		15,22	182,64
T	31,75	1,25	4		12,57	50,28
Difusores	11,73	0,46	3		14,55	43,65
Difusores	8,40	0,33	1,5		14	21
Difusores	11,47	0,45	1		14,55	14,55
Difusores	11,28	0,44	2		14,55	29,1
Difusores	8,95	0,35	2		14	28
Difusores	10,35	0,41	3		14,55	43,65
Difusores	11,99	0,47	6		14,55	87,3
Difusores	21,15	0,83	150		21,05	3157,5
Detectores de humo			32		33,81	1081,92
Detectores de Calor			58		29,25	1696,5
Pulsadores de Alarma			16		10,87	173,92

Botellas de FE13 (120l)		3 baterías de 12 botellas de 67l	3	14500	43500
Soportes Botellas	de		36	53,39	1922,04
				Σ	64561

Tabla 48. Precio instalación FE13

8. COMPARACIÓN DE AMBAS INSTALACIONES

✓ *Comparación técnica:*

Las principales diferencias técnicas encontradas una vez realizado este proyecto son:

La cantidad de agente extintor necesario para sofocar un incendio en el mismo espacio es inferior en la instalación del agente FE-13 frente a la del agente FM-200.

Siendo necesaria una cantidad de 2041 kg, es decir, 36 botellas de 67 litros de FE-13. Mientras que para el agente FM-200 sería necesaria una cantidad de 2544 kg, es decir, 39 botellas de 67 litros.

El espacio que ocupa la instalación para cada uno de los agentes no es demasiado significativo, pero se puede apreciar que la instalación para el FE-13 es ligeramente superior.

El volumen que ocupa la instalación de FM-200 es de 1,70 m³, mientras que la de FE-13 es de 1,90 m³.

• *Comparación económica:*

Analizando el coste de los elementos principales de la instalación para cada uno de estos sistemas fijos contra incendios, se obtiene que la instalación del agente FE-13 tiene un coste de 21061€, mientras que la instalación para el agente FM-200 el coste asciende a 22615€.

El precio del gas a emplear como agente extintor, es de 43500€ para cubrir toda la instalación del FE-13, cuando para el FM-200 es de 48735€.

El precio unitario del kilogramo de agente es, 22€ para el kilogramo de FE-13 y 19€ para el kilogramo de FM-200.

- *Comparación medioambiental:*

	FM-200	FE-13
LOAEL	10,5%	>30%
NOAEL	9%	30%
ODP	0	0
GWP	Bajo	Alto
LC50	>788696 ppm	650000 ppm
Vida atmosférica	Entre 31 y 42 años	270 años

Tabla 49. Comparativa medioambiental

9. CONCLUSIONES

Después de analizar todas las ventajas e inconvenientes de cada uno de los agentes utilizados como objeto de estudio en este proyecto, se puede concluir que:

Según la comparativa técnica realizada, el agente que nos ofrece una mejor administración del espacio ya que su instalación ocupa un volumen menor es el FM-200.

Según la comparativa económica, a pesar de que el precio unitario del kilogramo de agente es inferior en el caso del FM-200, el coste de la instalación es inferior en el caso del FE-13 y el coste total del agente es más económico que en el caso del FM-200.

Según la comparativa medioambiental, en lo referente a su vida atmosférica es considerablemente menor la del FM-200.

El agente FM-200 tiene menor nivel de toxicidad, siendo su nivel de concentración letal mayor.

Analizando los datos y observando que las diferencias técnicas y en el coste para ambas instalaciones es mínimo, lo más concluyente para comparar un agente con el otro se basa en los estudios medioambientales para cada uno.

En el caso de FM-200, su bajo nivel de Potencial de Calentamiento Global (GWP) es bajo, mientras que en el agente FE-13 el GWP es alto, por lo tanto el FM-200 es más apropiado porque su capacidad para producir el efecto invernadero es menor.

Para ambos el potencial de reducción de ozono (ODP) es nulo.

Estudiando los puntos anteriores se concluye que los agentes extintores analizados, son aptos para sustituir el sistema fijo contra incendio del Verónica B por los siguientes motivos:

El espacio que ocupa el sistema actual de CO₂, es mayor que el de los agentes extintores planteados.

Al ser los tres sistemas de inundación completa, es importante saber que la descarga de CO₂ no es compatible con la vida, y que el personal que estuviera presente sufriría asfixia, ya que el CO₂ reduce la concentración de oxígeno.

A pesar de la existencia de aspectos positivos a favor de los agentes extintores presentados en este proyecto, cabe destacar que para las empresas navieras supondría una mayor inversión económica mientras que el coste del CO₂ es más asequible que la del FE-13 y FM-200.

10. ANEXOS

10.1 ANEXO 1: Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS)

Extracto del Capítulo II-2: Construcción – Prevención, detección y extinción de incendios, apartado 4: sistemas fijos de extinción de incendios.

TIPOS DE SISTEMAS FIJOS DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS

El sistema fijo de extinción de incendios prescrito podrá ser uno cualquiera de los siguientes:

- Un sistema fijo de extinción de incendios por gas que cumpla lo dispuesto en el Código de Sistemas de Seguridad contra Incendios.
- Un sistema fijo de extinción de incendios a base de espuma de alta expansión que cumpla lo dispuesto en el Código de Sistemas de Seguridad contra Incendios.
- Un sistema fijo de extinción de incendios por aspersión de agua a presión que cumpla lo dispuesto en el Código de Sistemas de Seguridad contra Incendios.

Se prohibirán los sistemas de extinción de incendios en los que se utilicen los halones 1211, 1301 y 2402 y perfluorocarbonos.

MEDIOS DE CIERRE PARA LOS SISTEMAS FIJOS DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS POR GAS

Cuando se utilice un sistema fijo de extinción de incendios por gas, será posible cerrar desde el exterior todas las aberturas por las que pueda penetrar aire en el espacio protegido o escapar gas de él.

ESPACIOS DE ALMACENAMIENTO DEL AGENTE EXTINTOR

Cuando el agente extintor esté almacenado fuera de un espacio protegido, se hallará en un espacio situado detrás del mamparo de colisión y que no se emplee para otro propósito. La entrada a tal espacio de almacenamiento se efectuará preferiblemente desde una cubierta expuesta, y dicha entrada será independiente del espacio protegido.

Si el espacio de almacenamiento se encuentra bajo cubierta, no se encontrará más abajo de una cubierta por debajo de la cubierta

expuesta, y será posible acceder directamente a él por una escalera o escala desde la cubierta expuesta.

MEDIOS DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS EN LOS ESPACIOS DE MÁQUINAS

Espacios de máquinas que contienen calderas alimentadas con combustible líquido o instalaciones de combustible líquido

Los espacios de categoría A para máquinas que contengan calderas alimentadas con combustible líquido o instalaciones de combustible líquido estarán provistos de uno cualquiera de los sistemas fijos de extinción de incendios indicados.

Espacios de máquinas con motores de combustión interna

Los espacios de categoría A para máquinas que contengan motores de combustión interna estarán provistos de uno de los sistemas fijos de extinción de incendios.

Espacios de máquinas con turbinas de vapor o máquinas de vapor de cárter cerrado

Los espacios que contengan turbinas de vapor o máquinas de vapor de cárter cerrado que se utilicen para la propulsión principal u otros fines con una potencia de salida total no inferior a 375 kW, estarán provistos de uno de los sistemas de extinción de incendios cuando esos espacios no tengan dotación permanente.

Espacios para cargas generales

Los espacios de carga de los buques de pasaje de arqueado bruto igual o superior a 1 000 estarán protegidos por un sistema fijo de extinción de incendios a base de gas inerte o de anhídrido carbónico que cumpla lo dispuesto en el Código de Sistemas de Seguridad contra Incendios o por un sistema fijo de extinción de incendios a base de espuma de alta expansión que ofrezca una protección equivalente.

10.2 ANEXO 2: UNE-EN 15004-1:2008

Extracto del Capítulo 6: Diseño del sistema.

DISEÑO DEL SISTEMA

Suministro de agentes extintores

La cantidad de agente en el sistema debe ser, como mínimo suficiente para proteger el mayor resto o conjunto de riesgos que se deban proteger simultáneamente.

Recipientes de almacenamiento

Los recipientes se deben diseñar para contener el agente extintor específico. No se deben cargar a una densidad de llenado mayor que la especificada en esta norma relativa a dicho agente extintor.

Recipientes en batería o conectados a un mismo colector

Los recipientes conectados a un colector común en un sistema deben:

- a) Ser de la misma forma y capacidad nominal.
- b) Llenarse con la misma masa nominal de agente extintor.
- c) Presurizarse a la misma presión nominal de trabajo.

Temperatura de funcionamiento

Salvo que se haya aprobado otra cosa, las temperaturas de funcionamiento de los recipientes en servicio para sistemas de inundación total no debe ser superior a 50°C ni inferior a -20°C.

Distribución

Las tuberías y los accesorios deben cumplir con las normas nacionales aplicables, deben ser no combustibles y deben poder soportar sin daños las presiones y las temperaturas previstas.

Deben dotarse a las tuberías, uniones, soportes y estructuras de acero susceptibles de corrosión de una adecuada protección.

Tuberías

Las tuberías deben ser de material no combustible, y tener unas características físicas y químicas que garanticen su integridad bajo las tensiones que se pueden producir.

No se deben utilizar tuberías de fundición ni tuberías no metálicas.

Las tuberías o mangueras flexibles (incluidas las conexiones) deben ser de materiales aprobados y aptas para ser utilizadas a la presión prevista del agente extintor y a las temperaturas máxima y mínima.

Soportes de válvulas y de tuberías

Los soportes de válvulas y de tuberías deben ser de materiales no combustibles, adecuados para la temperatura prevista, y deben soportar las fuerzas dinámica y estáticas que se desarrollen.

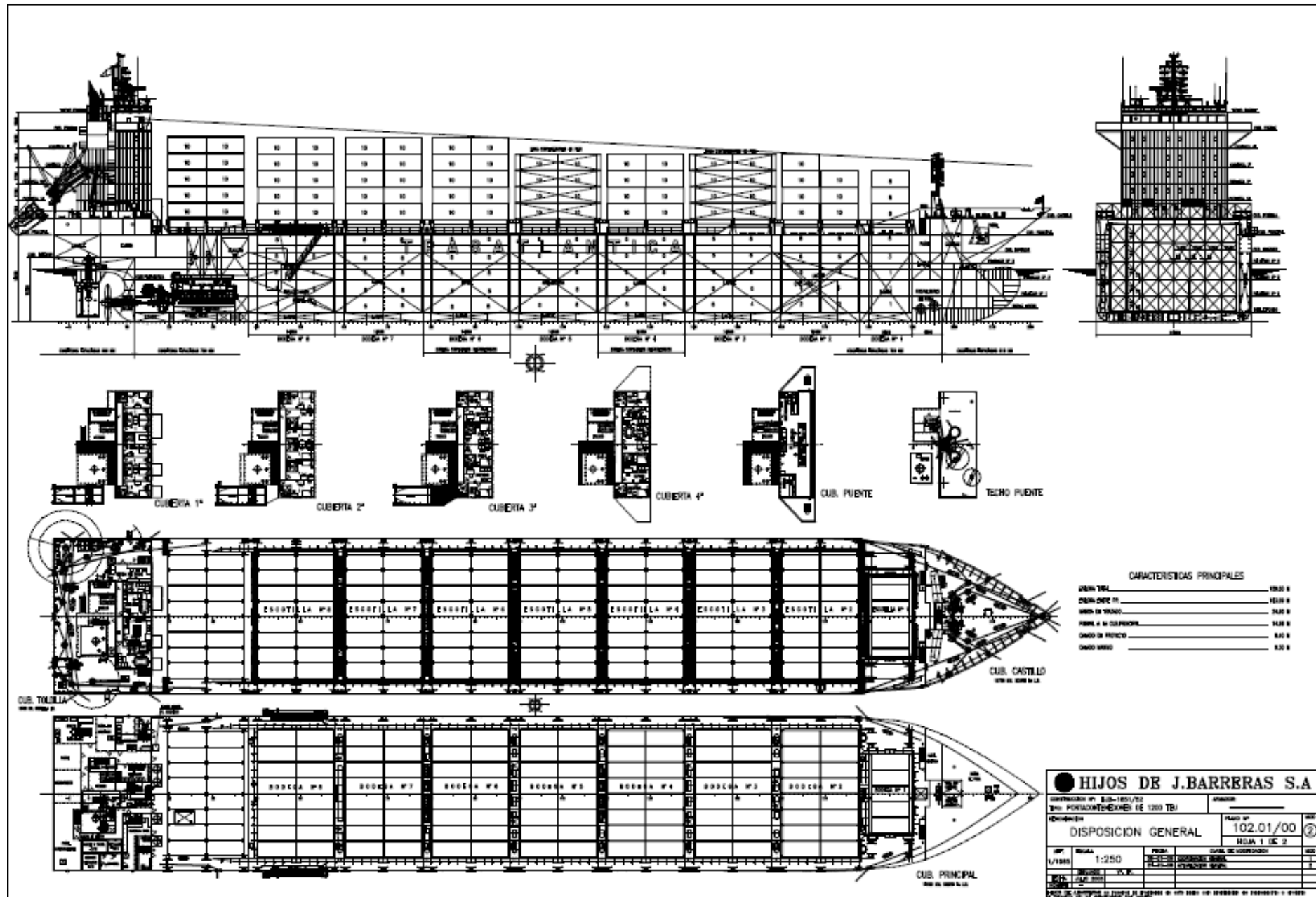
Difusores

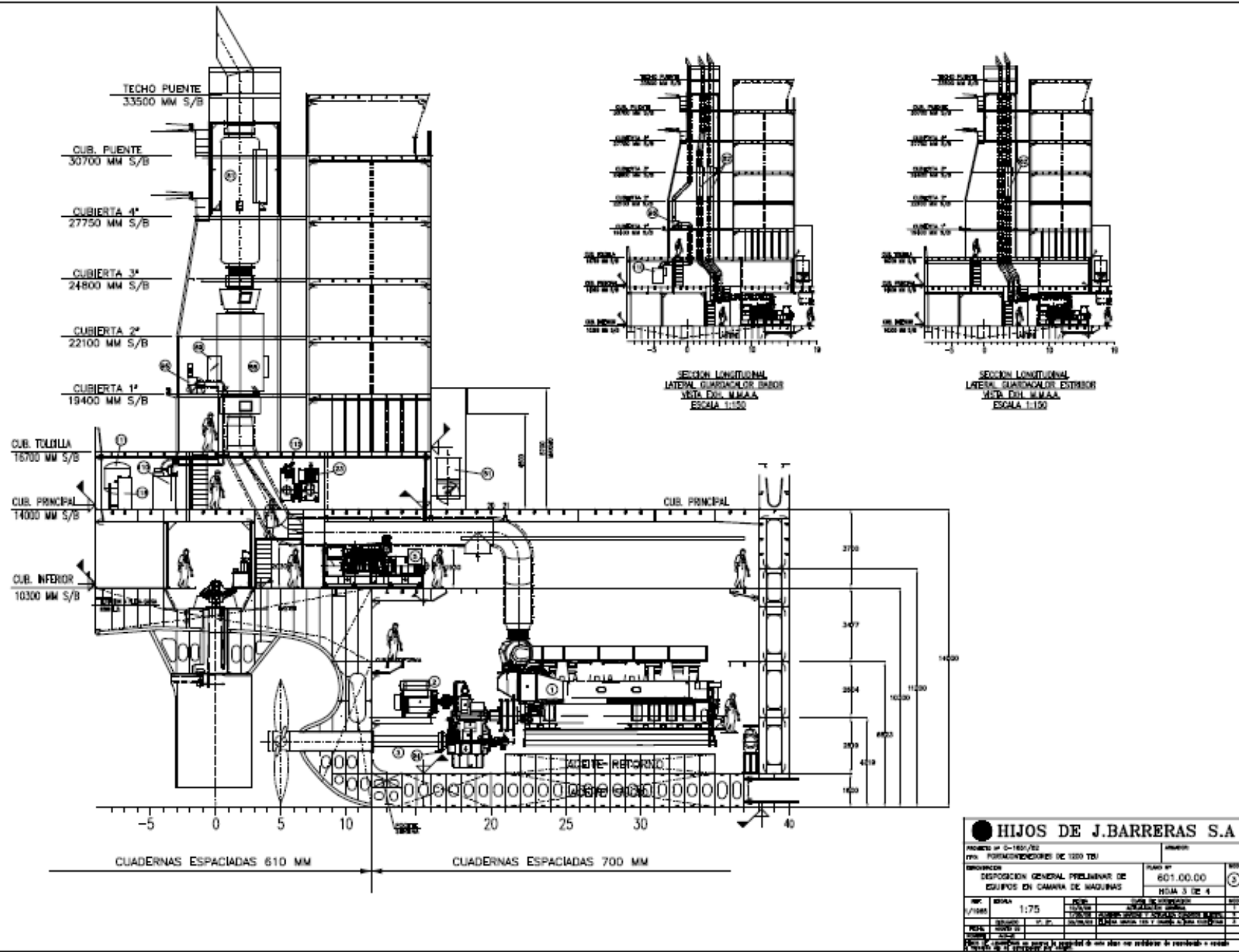
Los difusores, incluso los difusores unidos directamente a los recipientes, deben estar aprobados y deben situarse teniendo en cuenta la geometría del recinto a proteger.

El tipo, el número y el emplazamiento de los difusores debe ser tal que:

- En todas las partes del recinto se alcance la concentración de diseño.
- La descarga no origine salpicaduras indebidas de líquidos inflamables o nubes de polvo que puedan propagar el fuego, generar una explosión o perjudicar a los ocupantes.
- La velocidad de descarga no afecte desfavorablemente al recinto o a sus contenidos.

10.3 ANEXO 3: PLANOS VERÓNICA B





HIJOS DE J. BARRERAS S.A.		PROYECTO Nº 0-180/82		OBJETO	
TÍTULO: PORTACONTENEDORES DE 1200 TON		FECHA: 1982		Nº DE PLANOS: 601.00.00	
DESCRIPCION: DISPOSICION GENERAL PRELIMINAR DE EQUIPOS EN CAMARA DE MAQUINAS		HOJA 3 DE 4		Nº DE PLANOS: 601.00.00	
Nº:	ESCALA:	FECHA:	ESTADO:	APROBADO POR:	FECHA:
1/1885	1:75	1982	PROYECTO	J. BARRERAS	1982
REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	FECHA:	FECHA:	FECHA:
J. BARRERAS	J. BARRERAS	J. BARRERAS	1982	1982	1982

10.4 ANEXO 4: EXTRACTO UNE 15004-5:2009

EN 15004-5:2008

- 10 -

AENOR

Tabla 3 – Cantidad de HFC 227ea para inundación total

Temperatura <i>T</i> °C	Volumen específico de vapor <i>S</i> m³/kg	Requisitos de masa del HFC 227ea por unidad de volumen de espacio a proteger, <i>m/V</i> (kg/m³)									
		Esta información se refiere únicamente al producto HFC 227ea, y no representa a ningún otro producto que contenga 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropano como componente									
		Concentración de diseño (en volumen)									
		6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%
-10	0,1215	0,5254	0,6196	0,7158	0,8142	0,9147	1,0174	1,1225	1,2301	1,3401	1,4527
-5	0,1241	0,5142	0,6064	0,7005	0,7967	0,8951	0,9957	1,0985	1,2038	1,3114	1,4216
0	0,1268	0,5034	0,5936	0,6858	0,7800	0,8763	0,9748	1,0755	1,1785	1,2839	1,3918
5	0,1294	0,4932	0,5816	0,6719	0,7642	0,8586	0,9550	1,0537	1,1546	1,2579	1,3636
10	0,1320	0,4834	0,5700	0,6585	0,7490	0,8414	0,9360	1,0327	1,1316	1,2328	1,3364
15	0,1347	0,4740	0,5589	0,6457	0,7344	0,8251	0,9178	1,0126	1,1096	1,2089	1,3105
20	0,1373	0,4650	0,5483	0,6335	0,7205	0,8094	0,9004	0,9934	1,0886	1,1859	1,2856
25	0,1399	0,4564	0,5382	0,6217	0,7071	0,7944	0,8837	0,9750	1,0684	1,1640	1,2618
30	0,1425	0,4481	0,5284	0,6104	0,6943	0,7800	0,8676	0,9573	1,0490	1,1428	1,2388
35	0,1450	0,4401	0,5190	0,5996	0,6819	0,7661	0,8522	0,9402	1,0303	1,1224	1,2168
40	0,1476	0,4324	0,5099	0,5891	0,6701	0,7528	0,8374	0,9239	1,0124	1,1029	1,1956
45	0,1502	0,4250	0,5012	0,5790	0,6586	0,7399	0,8230	0,9080	0,9950	1,0840	1,1751
50	0,1527	0,4180	0,4929	0,5694	0,6476	0,7276	0,8093	0,8929	0,9784	1,0660	1,1555
55	0,1553	0,4111	0,4847	0,5600	0,6369	0,7156	0,7960	0,8782	0,9623	1,0484	1,1365
60	0,1578	0,4045	0,4770	0,5510	0,6267	0,7041	0,7832	0,8641	0,9469	1,0316	1,1183
65	0,1604	0,3980	0,4694	0,5423	0,6167	0,6929	0,7707	0,8504	0,9318	1,0152	1,1005
70	0,1629	0,3919	0,4621	0,5338	0,6072	0,6821	0,7588	0,8371	0,9173	0,9994	1,0834
75	0,1654	0,3859	0,4550	0,5257	0,5979	0,6717	0,7471	0,8243	0,9033	0,9841	1,0668
80	0,1679	0,3801	0,4482	0,5178	0,5890	0,6617	0,7360	0,8120	0,8898	0,9694	1,0509
85	0,1704	0,3745	0,4416	0,5102	0,5803	0,6519	0,7251	0,8000	0,8767	0,9551	1,0354
90	0,1730	0,3690	0,4351	0,5027	0,5717	0,6423	0,7145	0,7883	0,8638	0,9411	1,0202
95	0,1755	0,3638	0,4290	0,4956	0,5636	0,6332	0,7044	0,7771	0,8516	0,9277	1,0057
100	0,1780	0,3587	0,4229	0,4886	0,5557	0,6243	0,6945	0,7662	0,8396	0,9147	0,9916

m/V es la masa de agente que se requiere (en kilogramos por metro cúbico), es decir, la masa *m*, en kilogramos de agente extintor que se requiere por metro cúbico de volumen a proteger, *V*, para conseguir la concentración indicada a la temperatura especificada.

V es el volumen neto de riesgo (en metros cúbicos), es decir, el volumen del recinto menos las estructuras fijas impermeables al agente extintor.

$$m = \left(\frac{c}{100 - c} \right) \frac{V}{S}$$

T es la temperatura (en grados Celsius), es decir, la temperatura de diseño en la zona del riesgo.

S es el volumen específico (en metros cúbicos por kilogramo); el volumen específico del vapor sobrecalentado del HFC 227ea a una presión de 1,013 bar, se puede calcular de forma aproximada mediante la fórmula:

$$S = k_1 + k_2 T$$

donde $k_1 = 0,1269$; $k_2 = 0,000513$.

c es la concentración (en porcentaje), es decir, la concentración volumétrica del HFC 227ea en el aire, a la temperatura indicada y a una presión absoluta de 1,013 bar.

AENOR

- 11 -

EN 15004-5:2008

Tabla 4 – Concentraciones de diseño y de extinción de referencia del HFC 227ea

Combustible	Concentración de extinción % en volumen	Concentración de diseño mínima % en volumen
Clase B		
Heptano (quemador de copa)	6,7	9,0
Heptano (ensayo en recinto cerrado)	6,9	
Clase A superficial		
Entramado de madera	4,9	
PMMA	6,1	7,9
PP	6,1	
ABS	6,1	
Riesgo superior de clase A	^a	8,5

Los valores de extinción para los combustibles de clase B y de clase A superficial se determinan mediante ensayos realizados de acuerdo con los anexos B y C de la Norma EN 15004-1:2008.

La concentración de diseño mínima para el combustible de clase B es el valor más alto de la concentración de extinción obtenido para el heptano mediante el ensayo del quemador de copa o con el ensayo en recinto cerrado multiplicado por 1,3.

La concentración de diseño mínima para el combustible de clase A superficial es el valor más alto de la concentración de extinción obtenido para entramado de madera, PMMA, PP o ABS, multiplicado por 1,3. A falta de cualquiera de los 4 valores de extinción, la concentración de diseño mínima para la clase A superficial debe ser la correspondiente al riesgo superior de clase A.

Para disponer de una guía sobre los combustibles de clase A, véase el apartado 7.5.1.3 de la Norma EN 15004-1:2008.

Las concentraciones de extinción y de diseño para los fuegos de ensayo en recinto cerrado se dan únicamente a efectos informativos. Se pueden obtener concentraciones de extinción más bajas y más altas que las mostradas para fuegos de ensayo en recinto cerrado, y se pueden autorizar cuando estén validadas por informes de ensayo realizados por laboratorios reconocidos a nivel internacional.

^a La concentración de diseño mínima para los combustibles de riesgo superior de clase A debe ser la concentración más alta de la superficie de clase A o el 95% de la concentración de diseño mínima para la clase B.

5 SEGURIDAD DEL PERSONAL

En el diseño del sistema se debe tener en consideración cualquier riesgo para el personal, que pueda ser originado por la descarga del HFC 227ea.

Los riesgos potenciales pueden proceder de:

- el propio agente extintor;
- los productos de la combustión del fuego;
- los productos resultantes de la descomposición del agente extintor a causa de la exposición al fuego.

Para conocer los requisitos de seguridad mínimos, véase el capítulo 5 de la Norma EN 15004-1:2008.

La información toxicológica relativa al HFC 227ea se especifica en la tabla 5.

Tabla 5 – Información toxicológica relativa al HFC 227ea

Propiedad	Valor % en volumen
ALC ^a	> 80 en 20% O ₂
Nivel de efecto adverso no observado (NOAEL)	9,0
Nivel inferior de efecto adverso observado (LOAEL)	10,5
^a ALC es la concentración letal para una población de ratas durante una exposición de 4 h.	

6 DISEÑO DEL SISTEMA

6.1 Densidad de llenado

La densidad de llenado del depósito no debe exceder los valores dados en las tablas 6 y 7 para sistemas que trabajen a 25 bar y 42 bar respectivamente.

Si se excede la densidad de llenado máxima, puede ocurrir que el depósito alcance el nivel "lleno de líquido", con el riesgo de que un aumento pequeño de temperatura origine un aumento extremadamente alto de la presión, lo que podría afectar de forma negativa a la integridad del conjunto del depósito.

Las figuras 1 y 2 muestran las relaciones entre presión y temperatura, para varios niveles de densidad de llenado.

Tabla 6 – Características del depósito de almacenamiento del HFC 227ea - 25 bar

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad de llenado máxima	kg/m ³	1 150
Presión máxima de trabajo del depósito a 50 °C	bar ^a	34
Sobrepresurización a 20 °C	bar ^a	25
Para otros datos sobre las relaciones entre presión y temperatura, se debería consultar la figura 1.		
^a 1 bar = 0,1 MPa = 10 ⁵ Pa; 1 MPa = 1 N/mm ² .		

Tabla 7 – Características del depósito de almacenamiento del HFC 227ea - 42 bar

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad de llenado máxima	kg/m ³	1 150
Presión máxima de trabajo del depósito a 50 °C	bar ^a	53
Sobrepresurización a 20 °C	bar ^a	42
Para otros datos sobre las relaciones entre presión y temperatura, se debería consultar la figura 2.		
^a 1 bar = 0,1 MPa = 10 ⁵ Pa; 1 MPa = 1 N/mm ² .		

6.2 Sobrepresurización

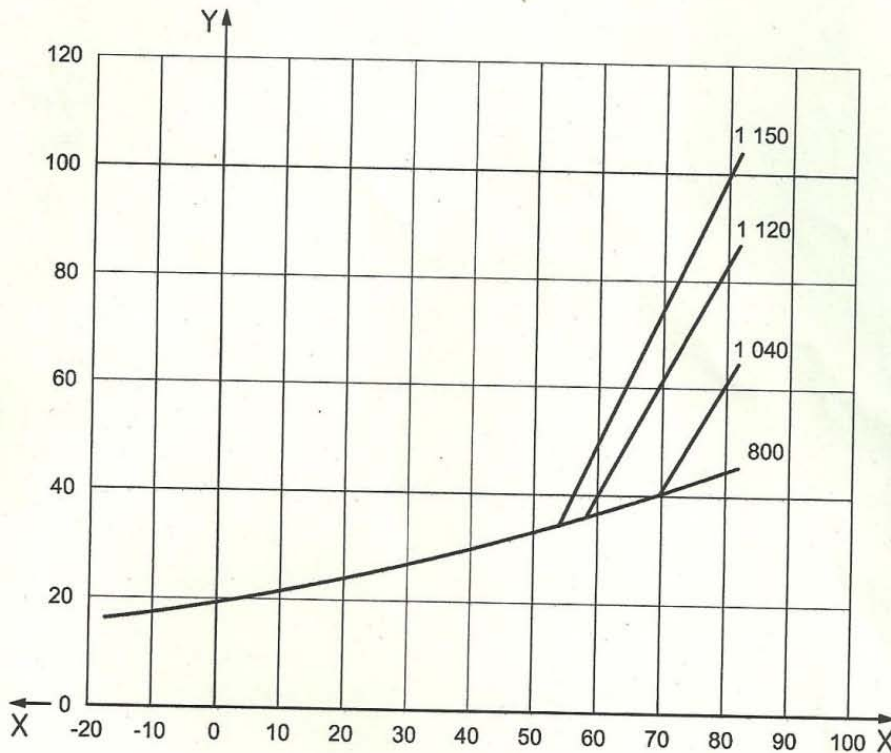
Los depósitos se deben sobrepresurizar con nitrógeno con un contenido de humedad que no exceda de $60 \times 10^{-6}\%$ en masa para una presión de equilibrio de $(25^{+1,25}_0)$ bar y $(42^{+2,1}_0)$ bar a 21 °C de temperatura (para las excepciones, véase el capítulo 1).

6.3 Cantidad de agente extintor

La cantidad de agente extintor debe ser la mínima requerida para conseguir la concentración de diseño dentro del volumen de riesgo del recinto a la temperatura mínima prevista; dicha cantidad se determina utilizando la información dada en la tabla 3 y aplicando el método especificado en el apartado 7.6 de la Norma EN 15004-1:2008.

Las concentraciones de diseño deben ser las especificadas en la tabla 4 para los riesgos indicados en la misma, incluyendo un coeficiente de seguridad de 1,3 aplicable a la concentración de extinción. Para riesgos particulares se debería tener en cuenta la posibilidad de aumentar este factor, con el asesoramiento de la autoridad competente.

Valores de la densidad en kilogramos por metro cúbico



Leyenda
 X temperatura, °C
 Y presión, bar

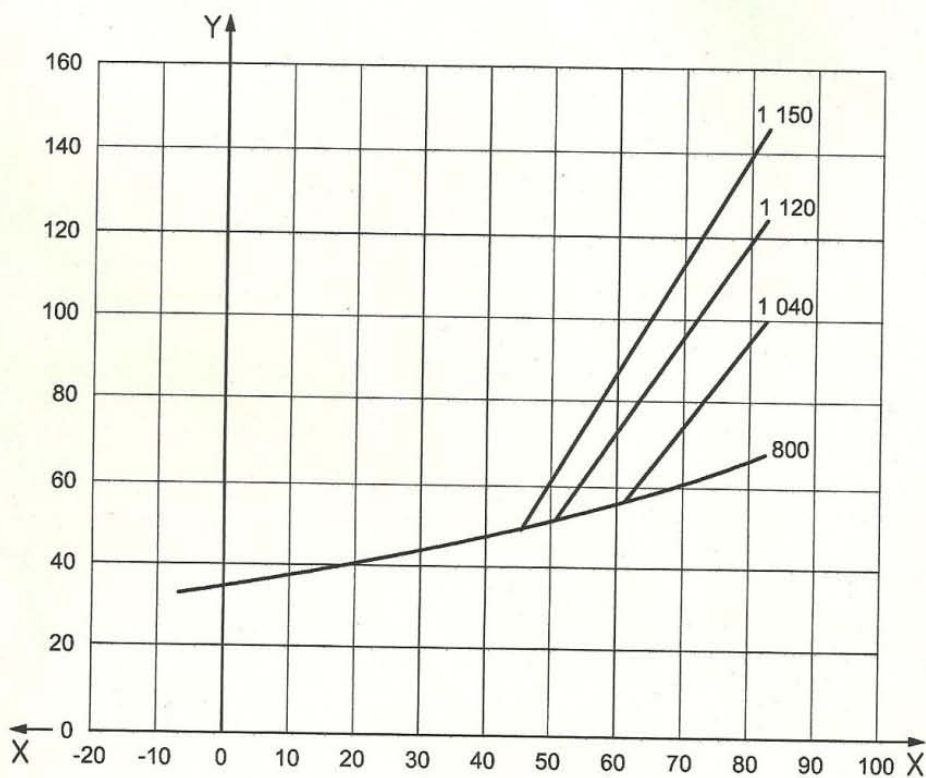
Figura 1 - Gráfico de temperatura/presión para el HFC 227ea. Sobrepresurizado con nitrógeno a 25 bar a 21 °C

EN 15004-5:2008

- 14 -

AENOR

Valores de la densidad en kilogramos por metro cúbico



Leyenda

X temperatura, °C
Y presión, bar

Figura 2 – Gráfico de temperatura/presión para el HFC 227ea. Sobrepresurizado con nitrógeno a 42 bar a 21 °C

10.5 ANEXO 5: EXTRACTO EN-15004-6:2008

EN 15004-6:2008

- 10 -

AENOR

Tabla 3 – Cantidad de HFC 23 para inundación total

Temperatura <i>T</i> °C	Volumen específico de vapor <i>S</i> m³/kg	Requisitos de masa del HFC 23 por unidad de volumen de espacio a proteger, <i>m/V</i> (kg/m³)									
		Esta información se refiere únicamente al producto HFC 23, y no representa a ningún otro producto que contenga trifluorometano como componente									
		Concentración de diseño (en volumen)									
		10%	12%	14%	15%	16%	17%	18%	20%	22%	24%
-60	0,2428	0,4576	0,5616	0,6705	0,7268	0,7845	0,8436	0,9041	1,0297	1,1617	1,3006
-55	0,2492	0,4459	0,5472	0,6533	0,7081	0,7644	0,8219	0,8809	1,0032	1,1318	1,2672
-50	0,2555	0,4349	0,5337	0,6371	0,6907	0,7455	0,8016	0,8591	0,9785	1,1039	1,2360
-45	0,2617	0,4246	0,5211	0,6221	0,6743	0,7278	0,7826	0,8388	0,9553	1,0778	1,2067
-40	0,2680	0,4146	0,5088	0,6074	0,6585	0,7107	0,7643	0,8191	0,9328	1,0524	1,1783
-35	0,2742	0,4052	0,4973	0,5937	0,6436	0,6947	0,7470	0,8006	0,9117	1,0286	1,1517
-30	0,2803	0,3964	0,4865	0,5808	0,6296	0,6795	0,7307	0,7831	0,8919	1,0062	1,1266
-25	0,2865	0,3878	0,4760	0,5682	0,6160	0,6648	0,7149	0,7662	0,8726	0,9845	1,1022
-20	0,2926	0,3797	0,4660	0,5564	0,6031	0,6510	0,7000	0,7502	0,8544	0,9639	1,0793
-15	0,2987	0,3720	0,4565	0,5450	0,5908	0,6377	0,6857	0,7349	0,8370	0,9443	1,0572
-10	0,3047	0,3647	0,4475	0,5343	0,5792	0,6251	0,6722	0,7204	0,8205	0,9257	1,0364
-5	0,3108	0,3575	0,4388	0,5238	0,5678	0,6129	0,6590	0,7063	0,8044	0,9075	1,0161
0	0,3168	0,3507	0,4304	0,5139	0,5570	0,6013	0,6465	0,6929	0,7891	0,8903	0,9968
5	0,3229	0,3441	0,4223	0,5042	0,5465	0,5899	0,6343	0,6798	0,7742	0,8735	0,9780
10	0,3289	0,3378	0,4146	0,4950	0,5365	0,5791	0,6227	0,6674	0,7601	0,8576	0,9601
15	0,3349	0,3318	0,4072	0,4861	0,5269	0,5688	0,6116	0,6555	0,7465	0,8422	0,9429
20	0,3409	0,3259	0,4000	0,4775	0,5177	0,5587	0,6008	0,6439	0,7334	0,8274	0,9263
25	0,3468	0,3204	0,3932	0,4694	0,5089	0,5492	0,5906	0,6330	0,7209	0,8133	0,9106
30	0,3528	0,3149	0,3865	0,4614	0,5002	0,5399	0,5806	0,6222	0,7086	0,7995	0,8951
35	0,3588	0,3097	0,3801	0,4537	0,4918	0,5309	0,5708	0,6118	0,6968	0,7861	0,8801
40	0,3647	0,3047	0,3739	0,4464	0,4839	0,5223	0,5616	0,6019	0,6855	0,7734	0,8659
45	0,3707	0,2997	0,3679	0,4391	0,4760	0,5138	0,5525	0,5922	0,6744	0,7609	0,8519
50	0,3766	0,2950	0,3621	0,4323	0,4686	0,5058	0,5439	0,5829	0,6638	0,7489	0,8385
55	0,3826	0,2904	0,3564	0,4255	0,4612	0,4978	0,5353	0,5737	0,6534	0,7372	0,8254
60	0,3885	0,2860	0,3510	0,4190	0,4542	0,4903	0,5272	0,5650	0,6435	0,7260	0,8128
65	0,3944	0,2817	0,3457	0,4128	0,4474	0,4830	0,5193	0,5566	0,6339	0,7151	0,8007
70	0,4004	0,2775	0,3406	0,4066	0,4407	0,4757	0,5115	0,5482	0,6244	0,7044	0,7887

m/V es la masa de agente que se requiere (en kilogramos por metro cúbico); es decir, la masa *m*, en kilogramos de agente que se requiere por metro cúbico de volumen a proteger, *V*, para conseguir la concentración indicada a la temperatura especificada.

V es el volumen neto de riesgo (en metros cúbicos), es decir, el volumen del recinto menos las estructuras fijas impermeables al agente extintor.

$$m = \left(\frac{c}{100 - c} \right) \frac{V}{S}$$

T es la temperatura (en grados Celsius), es decir, la temperatura de diseño en la zona del riesgo.

S es el volumen específico (en metros cúbicos por kilogramo); el volumen específico del vapor sobrecalentado del HFC 23 a una presión de 1,013 bar, se puede calcular de forma aproximada mediante la fórmula:

$$S = k_1 + k_2 T$$

donde $k_1 = 0,3164$; $k_2 = 0,0012$.

c es la concentración (en porcentaje), es decir, la concentración volumétrica del HFC 23 en el aire, a la temperatura indicada y a una presión absoluta de 1,013 bar.

Tabla 4 – Concentraciones de diseño y de extinción de referencia del HFC 23

Combustible	Concentración de extinción % en volumen	Concentración de diseño mínima % en volumen
Clase B		
Heptano (quemador de copa)	12,6	16,4
Heptano (ensayo en recinto cerrado)	12,3	
Clase A superficial		
Entramado de madera	10,5	
PMMA	12,5	16,3
PP	12,5	
ABS	12,4	
Riesgo superior de clase A	^a	16,3
<p>Los valores de extinción para los combustibles de clase B y de clase A superficial se determinan mediante ensayos realizados de acuerdo con los anexos B y C de la Norma EN 15004-1:2008.</p> <p>La concentración de diseño mínima para el combustible de clase B es el valor más alto de la concentración de extinción obtenido para el heptano mediante el ensayo del quemador de copa o con el ensayo en recinto cerrado multiplicado por 1,3.</p> <p>La concentración de diseño mínima para el combustible de clase A superficial es el valor más alto de la concentración de extinción obtenido para entramado de madera, PMMA, PP o ABS, multiplicado por 1,3. A falta de cualquiera de los 4 valores de extinción, la concentración de diseño mínima para la clase A superficial debe ser la correspondiente al riesgo superior de clase A.</p> <p>Para disponer de una guía sobre los combustibles de clase A, véase el apartado 7.5.1.3 de la Norma EN 15004-1:2008.</p> <p>Las concentraciones de extinción y de diseño para los fuegos de ensayo en recinto cerrado se dan únicamente a efectos informativos. Se pueden obtener concentraciones de extinción más bajas y más altas que las mostradas para fuegos de ensayo en recinto cerrado, y se pueden autorizar cuando estén validadas por informes de ensayo realizados por laboratorios reconocidos a nivel internacional.</p> <p>^a La concentración de diseño mínima para los combustibles de riesgo superior de clase A debe ser la concentración más alta de la superficie de clase A o el 95% de la concentración de diseño mínima para la clase B.</p>		

5 SEGURIDAD DEL PERSONAL

En el diseño del sistema se debe tener en consideración cualquier riesgo para el personal, que pueda ser originado por la descarga del HFC 23.

Los riesgos potenciales pueden proceder de:

- el propio agente extintor;
- los productos de la combustión del fuego;
- los productos resultantes de la descomposición del agente extintor a causa de la exposición al fuego.

Para conocer los requisitos de seguridad mínimos, véase el capítulo 5 de la Norma EN 15004-1:2008.

La información toxicológica relativa al HFC 23 se especifica en la tabla 5.

Tabla 5 – Información toxicológica relativa al HFC 23

Propiedad	Valor % en volumen
ALC ^a	> 65
Nivel de efecto adverso no observado (NOAEL)	30
Nivel inferior de efecto adverso observado (LOAEL)	> 30
^a ALC es la concentración letal para una población de ratas durante una exposición de 4 h.	

6 DISEÑO DEL SISTEMA

6.1 Densidad de llenado

La densidad de llenado del depósito no debe producir presiones que excedan a las indicadas en las especificaciones del depósito a la temperatura de diseño máxima. Para un ejemplo, véase la tabla 6.

Tabla 6 – Características del depósito de almacenamiento del HFC 23

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad de llenado máxima	kg/m ³	860
Presión máxima de trabajo del depósito a 50 °C	bar ^a	137
Para otros datos sobre las relaciones entre presión y temperatura, se debería consultar la figura 1.		
^a 1 bar = 0,1 MPa = 10 ⁵ Pa; 1 MPa = 1 N/mm ² .		

Si se excede la densidad de llenado máxima, puede ocurrir que el depósito alcance el nivel "lleno de líquido", con el riesgo de que un aumento pequeño de temperatura origine un aumento extremadamente alto de la presión, lo que podría afectar de forma negativa a la integridad del conjunto del depósito.

La figura 1 muestra las relaciones entre presión y temperatura, para varios niveles de densidad de llenado.

6.2 Sobrepresurización

Los depósitos para el HFC 23 no se someten a sobrepresurización.

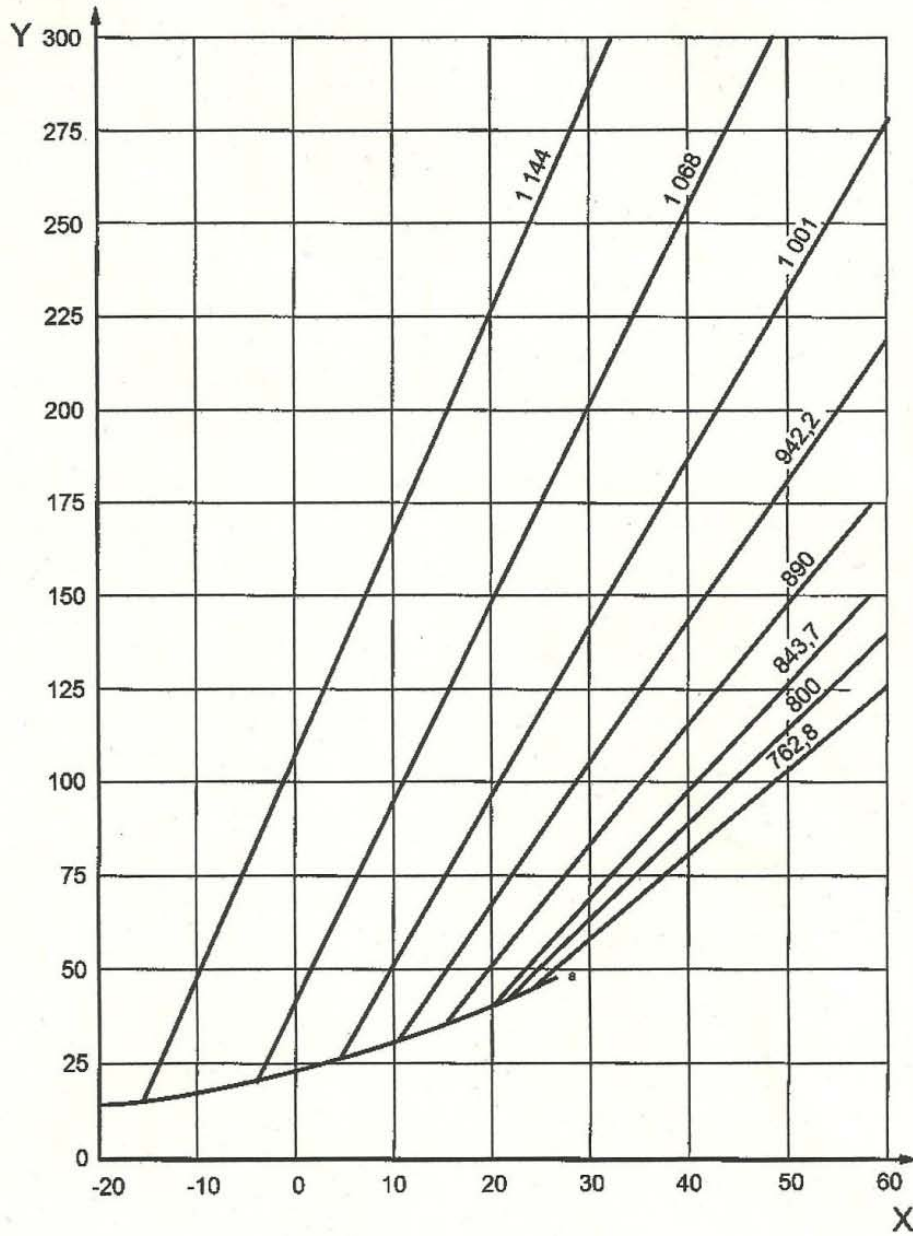
6.3 Cantidad de agente extintor

La cantidad de agente extintor debe ser la mínima requerida para conseguir la concentración de diseño dentro del volumen de riesgo del recinto a la temperatura mínima prevista; dicha cantidad se determina utilizando la información dada en la tabla 3. Además, en los cálculos de la cantidad de agente extintor se debe aplicar un factor para compensar cualquier cantidad de agente residual en los depósitos de almacenaje al final de 10 s.

Las concentraciones de diseño deben ser las especificadas en la tabla 4 para los riesgos indicados en la misma, incluyendo un factor de seguridad de 1,3 aplicable a la concentración de extinción.

Para riesgos particulares se debería tener en cuenta la posibilidad de aumentar este factor, con el asesoramiento de la autoridad competente.

Valores de la densidad en kilogramos por metro cúbico



- Leyenda
- X temperatura, °C
 - Y presión, bar
 - ^a Punto crítico

Figura 1 – Gráfico de temperatura/presión para el HFC 23

10.6 ANEXO 6: PRECIOS COMPONENTES DE LA RED DE TUBERÍAS



COMERCIAL DE TUBOS, S.A.

Barcelona, 1
 Telef. 560 74 11
 Fax. 560 36 78

LA LLAGOSTA 08120 (Barna)

e-mail: barcelona@cotusa.com

TARIFA DE PRECIOS - ACERO AL CARBONO

NORMAS ASTM

MEDIDAS				TUBO SIN SOLDADURA A-106 Gr.B / API 5-L Gr.B			TUBO SOLDADO API-5L / DIN-2458	ACCESORIOS S/ANSI					BRIDAS S/ANSI STD.						
PULGADAS	m/m	ESP. STD./40	ESP. SCH.XS	SCH. STD.	SCH. 40	SCH. XS		CODOS 45°/LR. STD.	CODOS 90°/LR. STD.	CODOS 90°/LR. XS.	TES STD.	CAPS STD.	WELDING NECK			SLIP-ON		BLIND	
													150 Lbs.	300 Lbs.	600 Lbs.	150 Lbs.	300 Lbs.	150 Lbs.	
3/8"	17,10	2,31	3,2	7,23															
1/2"	21,30	2,77	3,73	6,07		7,23		7,27	5,12	9,36	8,78	3,36	15,38	19,55	45,33	14,19	21,00	14,50	
3/4"	26,70	2,87	3,91	6,13		7,99		7,27	5,12	9,36	9,43	3,36	15,38	19,55	45,33	14,19	21,00	14,50	
1"	33,40	3,38	4,59	8,48		10,97		7,91	5,56	10,18	10,17	3,36	15,38	19,55	45,33	14,19	21,00	17,17	
1 1/4"	42,20	3,56	4,89	10,67		14,06		8,32	5,88	10,41	12,57	5,05	18,62	25,55	45,33	15,29	23,94	21,78	
1 1/2"	48,30	3,68	5,08	11,77		15,72	G	9,23	6,48	11,73	15,22	5,32	18,62	25,55	45,33	15,29	23,94	21,78	
2"	60,30	3,91	5,54	14,48		19,91	O	10,23	7,20	12,18	18,13	5,55	20,76	27,55	46,72	18,00	26,89	23,28	
2 1/2"	73,00	5,16	7,01	24,02		30,36	H	18,82	13,24	19,86	28,09	7,23	30,05	44,55	65,28	26,57	46,39	36,78	
3"	88,90	5,49	7,62	28,70		38,81	S	20,09	14,16	24,27	39,04	7,45	30,05	44,55	65,28	26,57	46,39	36,78	
4"	114,30	6,82	8,56	40,84		56,72	U	33,59	23,68	42,36	56,52	10,23	42,71	66,20	121,61	35,38	73,50	48,56	
5"	141,30	6,55	9,53	55,32	G		L	58,82	51,76	75,18	93,22	17,05	63,24	116,80	280,33	50,95	123,61	77,67	
6"	168,30	7,11	10,97	78,65	O		T	64,68	62,60	112,32	124,35	24,32	63,24	113,95	269,22	48,71	123,61	76,22	
8"	219,10	8,18	12,7	132,20	H		A	129,18	126,24	212,41	219,22	42,00	116,62	212,85	426,50	82,57	187,39	140,94	
10"	273,00	9,27	12,7	187,36	S		R	191,95	233,28	341,14	446,09	89,18	161,86	310,50		128,81	273,61	219,78	
12"	323,80	9,52/10,31	12,7	231,15	U			267,14	335,68	478,14	769,57	202,50	253,38			201,86	411,78	325,50	
14"	355,60	9,52/11,13	12,7		L			374,45	464,72	641,73	869,57	286,55	365,52						
16"	406,40	9,52/12,70	12,7		T			516,36	658,16	942,32	1.171,35	384,32	465,95						
18"	457,00	9,52/14,27	12,7		A			679,23	993,36	1.300,32	1.703,30	409,64							
20"	508,00	9,52/15,09	12,7		R			832,18	1.219,68	1.571,05	1.984,65	452,45							
DESCUENTO																			
REDUCCIONES	1"x3/4"	12,41	11/2"x1"	12,50	2"x3/4"	15,27	3"x2"	17,00	4"x2"	25,36	6"x4"	44,00	10"x6"	90,59	16"x12"	383,27	DOCT.		
CONCENTRICAS	1"x1/2"	15,27	11/2"x3/4"	13,59	21/2"x2"	15,95	3"x11/2"	20,00	4"x11/2"	---	6"x3"	44,91	12"x10"	135,77	18"x16"	604,50			
STD	11/4"x1"	11,82	11/2"x1/2"	16,95	21/2"x11/2"	15,95	3"x11/4"	22,45	5"x4"	33,82	8"x6"	67,77	12"x8"	141,86	18"x14"	865,14			
ASTM A-234	11/4"x3/4"	11,82	2"x11/2"	12,55	21/2"x11/4"	21,59	3"x1"	---	5"x3"	33,82	8"x5"	79,55	14"x12"	301,00	20"x18"	707,68			
GRADO WPB	11/4"x1/2"	21,77	2"x11/4"	12,55	21/2"x1"	21,59	4"x3"	23,00	5"x21/2"	45,18	8"x4"	84,64	14"x10"	301,00	20"x16"	707,68			
ANSI B 16.9	11/2"x11/4"	12,50	2"x1"	12,55	3"x21/2"	17,00	4"x21/2"	25,36	6"x5"	44,00	10"x8"	90,59	16"x14"	383,27	24"x20"	884,59			

11. BIBLIOGRAFÍA

- Libros

- Wayne G. Carson, P.E, Richard L. Linier, P.E. *Sistemas de Protección Contra Incendios: Manual para Inspecciones, Pruebas y Mantenimiento*. 3ª ed. España, 2000. ISBN: 84-85597-78-8.
- Berta Sabogal, Mónica Sabogal, Luz Stela de Narváez, Alfredo Fajardo, Sara Montañez. *Manual de Protección Contra Incendios, Volumen II*. 5ª ed. España, 2009. ISBN: 0-87765-851-X.
- Juan Miguel Suay Belenguer. *Instalaciones Contra Incendios: el fuego. Agentes extintores. Cálculo hidráulico*. 1ª ed. Madrid: A. Madrid Vicente, Ediciones, 2010. ISBN: 978-84-96709-40-9.
- Ricard Mari Segarra, Enrique González Pino. *Lucha Contra Incendios a Bordo*. Madrid: A.G. Grupo, 1989. ISBN: 84-86817-01-3.
- Andrés Aznar Carrasco. *Protección Contra Incendios: Análisis y diseño de sistemas*. 2ª ed. Madrid, 1999. ISBN: 84-86445-14-0.

- Normativa

- Organización Marítima Internacional (OMI). Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS). Londres, 1980.
- Organización Marítima Internacional (OMI). Código Internacional de Sistemas de Seguridad Contra Incendios (SSCI). Londres, 2000.

- AENOR. UNE-EN: 15004-1: Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de extinción mediante agentes gaseosos. Parte 1: Diseño, instalación y mantenimiento. Madrid, 2008.
- UNE 15004-5: Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de extinción mediante agentes gaseosos. Parte 5: Propiedades físicas y diseño de sistemas de extinción mediante agentes gaseosos con HFC 227ea. Madrid, 2008.
- UNE 15004-6: Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de extinción mediante agentes gaseosos. Parte 6: Propiedades físicas y diseño de sistemas de extinción mediante agentes gaseosos con HFC 23. Madrid, 2008.
- National Fire Protection Association. NFPA 2001: Standard on clean agent fire extinguishing systems. Massachusetts, 2012.
- National Fire Protection Association. NFPA 12: Standard on carbon dioxide extinguishing systems. Massachusetts, 2011
- National Fire Protection Association. NFPA 14: Standard for the installation of standpipe and hose systems. Massachusetts, 2013.

- **Páginas web**

<http://www.prefire.es/>

<http://www.grupoincendios.com/>

<http://www.acae.es/>

<http://www.faustykammann.com/>

<http://www.lpg.es/>