



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

**APLICACIÓN DE LA NORMA NFPA-2001 PARA LA
PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN CUARTOS DE
CONTROL**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA

VÍCTOR HUGO BERMUDEZ MENDOZA

DIRECTOR DE TESIS

I.Q. RAÚL SÁNCHEZ MEZA



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor: Eduardo Guillermo Ramón Marambio Dennett

VOCAL: Profesor: Irma Cruz Gavilán García

SECRETARIO: Profesor: Raúl Sánchez Meza

1er SUPLENTE: Profesor: Guillermina Jazmín Arellano Salazar

2do SUPLENTE: Profesor: José Agustín García Reynoso

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: INTERNATIONAL FIRE
SAFETY CONSULTING DE MÉXICO, S.A. DE C.V.**

ASESOR DEL TEMA:

I.Q. Raúl Sánchez Meza

SUSTENTANTE:

Víctor Hugo Bermúdez Mendoza



ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. CUARTOS DE CONTROL.....	3
2.1. Sistema de Detección y Alarma	7
2.2. Sistema de Extinción.....	8
CAPÍTULO III. LOS AGENTES LIMPIOS.....	10
3.1. Líquidos Vaporizantes.....	11
3.2. Peligros Asociados con los Líquidos Vaporizantes	13
3.3. Aplicaciones de los líquidos vaporizantes	15
3.4. Agentes Limpios	15
3.5. Uso de los Sistemas de Agente Limpios.....	18
CAPÍTULO IV. MECANISMO DE EXTINCIÓN POR AGENTES LIMPIOS	22
CAPÍTULO V. NORMA NFPA 2001	27
5.1. Generalidades.....	29
5.2. Publicaciones de Referencia.....	42
5.3. Definiciones	42
5.4. Componentes.....	42
5.4.1. Almacenamiento de Agente.	42
5.4.2. Distribución	47
5.4.3. Sistemas de detección, actuación, alarma y control.	53
5.5. Diseño del Sistema	55
5.6. Sistema de Aplicación Local	67



5.7.	Inspección, prueba, mantenimiento y formación.....	67
5.8.	Sistemas Marítimos	69
5.9.	Anexo A. Aclaraciones	70
5.10.	Anexo B. Método del quemador de vaso para determinar la concentración mínima de extinción de llama para un agente gaseoso.....	70
5.11.	Anexo C. Procedimiento de integridad del recinto	71
5.12.	Anexo D. Evaluación del Recinto.....	72
5.13.	Anexo E. Referencias informativas	73
CAPÍTULO VI. EJEMPLO PARA EL CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE AGENTE LIMPIO PARA LA PROTECCIÓN POR INUNDACIÓN TOTAL.....		74
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES.....		80
REFERENCIA.....		83
ANEXO A.....		85



ÍNDICE DE TABLAS

Descripción	Pág.
CAPÍTULO III. LOS AGENTES LIMPIOS	
Tabla 3.1 Prueba de fuego. Extinción de hexano con líquidos vaporizantes.....	12
Tabla 3.2 Concentraciones letales de líquidos vaporizantes.....	14
Tabla 3.3 Nomenclatura de los sustitutos comercializados del halón.....	16
CAPÍTULO IV. MECANISMO DE EXTINCIÓN POR AGENTES LIMPIOS	
Tabla 4.1 Valores de extinción del quemador de vaso con n-heptano provenientes de varios investigadores.....	26
CAPÍTULO V. NORMA NFPA 2001	
Tabla 5.1 Agentes considerados en NFPA 2001.....	30
Tabla 5.2 Información sobre agentes halocarbonados limpios.....	34
Tabla 5.3 Tiempo de exposición humana segura a diferentes concentraciones de HFC-125.....	35
Tabla 5.4 Tiempo de exposición segura a diferentes concentraciones de HFC- 227ea.....	36
Tabla 5.5 Tiempo de exposición humana segura a diferentes concentraciones de HFC-236fa.....	36
Tabla 5.6 Tiempo de exposición humana segura a diferentes concentraciones de FIC-1311.....	37
Tabla 5.7 Requisitos de calidad para agentes halogenados.....	44
Tabla 5.8 Requisitos de calidad para agentes gaseosos inertes.....	44
Tabla 5.9 Requisitos de calidad para el HCFC Mezcla A.....	45
Tabla 5.10 Requisitos de calidad para el HFC Mezcla B.....	45
Tabla 5.11 Presión de diseño mínima para tuberías de sistemas de agentes limpios basados en gases inertes.....	48
Tabla 5.12 Presión de diseño mínima para tuberías de sistemas de agentes limpios basados en halocarbonados.....	49
Tabla 5.13 Factores de diseño para “tes” en tuberías.....	64



Tabla 5.14 Factores de corrección atmosférica.....	66
--	----

CAPÍTULO VI. EJEMPLO PARA EL CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE AGENTE LIMPIO PARA LA PROTECCIÓN POR INUNDACIÓN TOTAL

Tabla 6.1 Concentraciones de extinción en el quemador de vaso para n-heptano.	75
Tabla 6.2 HFC-125 Cantidad para inundación total (unidades U.S).....	85
Tabla 6.3 Factores de corrección atmosférica.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Descripción	Pág.
CAPÍTULO II. CUARTOS DE CONTROL	
Figura 2.1 Cuarto de Control.....	3
Figura 2.2 Área de servidores.....	4
Figura 2.3 CCMs.....	5
Figura 2.4 Cableado debajo de plafones.....	6
Figura 2.5 Sistema de detección temprana de humo por aspiración.....	7
Figura 2.6 Cilindros de agente limpio (FM-200®).....	9
CAPÍTULO III. LOS AGENTES LIMPIOS	
Figura 3.1 Descarga de agente limpio.....	13
CAPÍTULO V. NORMA NFPA 2001	
Figura 5.1 Sistema de agente limpio para proteger un cuarto de control mediante la inundación total.....	32
Figura 5.2 Señalamiento que se coloca en la puerta del cuarto protegido.....	33
Figura 5.3 Señalamiento que indica el tiempo en que se descargará el agente.....	41
Figura 5.4 Cilindros que contienen agente limpio.....	43
Figura 5.5 Cilindro ubicado en el exterior (Villahermosa, Tabasco).....	46
Figura 5.6 Placa de identificación.....	47
Figura 5.7 Boquilla de descarga.....	53



Figura 5.8 Sistemas de Agente Limpio y de Detección y Alarma.....	55
Figura 5.9 Isométrico del sistema de agente limpio.....	57
Figura 5.10 Los orificios dentro de un cuarto protegido pueden disminuir el desempeño del sistema de agente limpio.....	58
Figura 5.11 Protección mediante agente limpio debajo de plafones (piso falso)....	59
Figura 5.12 Aplicación Local.....	67
Figura 5.13 Equipo para realizar la prueba Door Fan Test.....	69
Figura 5.14 Ventila de relevo de presión.....	73



CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día las computadoras controlan gran parte de los procesos de producción. Se ha llegado al punto en el cual los seres humanos difícilmente pueden remplazar al equipamiento y a la robótica controlada por computadora. Muchas industrias dependen de equipos electrónicos sofisticados tales como sistemas de comunicación, prototipos, simuladores, tableros de control, dispositivos de medición, etc. Dichos equipos pueden ser vitales para el desarrollo del negocio.

Debido a la gran dependencia que la industria tiene de los equipos electrónicos, no puede dejarse a un lado la protección de estos, en particular, contra los riesgos de incendio. Tales equipos son susceptibles de sufrir daños por el fuego, el calor, el vapor y los productos de combustión que lo acompañan (humo). De tal forma que, cuando el valor del equipo y el costo de interrumpir el funcionamiento del sistema informático así lo determinen, es de suma importancia proteger la instalación mediante un sistema fijo de extinción.

La protección contra incendios a través de un agente limpio es adecuada cuando sea necesario proteger los datos en proceso, reducir los daños del equipo o permitir un rápido retorno a la operación de las actividades de la industria. Típicamente los sistemas de agente limpio están diseñados para la inundación total del cuarto con el agente extinguidor. En el pasado, se utilizaba el Halón 1301, sin embargo, las preocupaciones ambientales que involucran a dicho agente con el deterioro de la capa de ozono, requieren que se consideren medios alternos de protección. Actualmente se siguen desarrollando y existen más de doce alternativas de agentes limpios que sustituyen al Halón 1301. La selección de alguno de los agentes sustitutos debe considerar su impacto a largo plazo en el medio ambiente.



En este trabajo, se establecen las bases mínimas necesarias para la protección contra incendios de los cuartos de control, en los que se encuentran equipos electrónicos (computadoras, tableros de control, etc.) mediante sistemas de extinción a base de agentes limpios, tomando como referencia los requisitos de la norma 2001 “Norma sobre Sistemas de Extinción de Incendios con Agentes Limpios” de la National Fire Protection Association (NFPA 2001).



CAPÍTULO II. CUARTOS DE CONTROL

Las plantas de proceso están conformadas por distintas áreas tales como de almacenamiento, servicios, administrativas, proceso, etc. “La caseta o cuarto de control por lo general se debe localizar al centro de la unidad de proceso, con el objetivo de que los operadores tengan un rápido acceso y una mejor visibilidad de todas las secciones de la unidad”, (Anaya, Barragán y Vergara, 2013, p. 367)¹.

Entre otras actividades, en el cuarto de control se controlan los equipos de proceso y se monitorean sus condiciones de operación (temperatura, presión, caudal, etc.). Por lo anterior, la importancia de este lugar radica en la continuidad de sus operaciones, pues en caso de que el cuarto de control sufra algún daño, los procesos de la planta se detendrían, ocasionando pérdidas económicas importantes.



Figura 2.1 Cuarto de Control

De acuerdo con Houghtom, K (2006)⁸, el costo asociado a la suspensión de actividades de una planta de proceso por la falla del cuarto de control puede



encontrarse entre 40,000 (USD) - 50,000 (USD) por hora, este rango varia, dependiendo de la importancia del proceso.

Por lo expuesto en los párrafos anteriores, es crucial que los cuartos de control estén protegidos ante la ocurrencia de algún evento que pudiera poner en riesgo la continuidad de sus operaciones, particularmente y por el alcance de este trabajo la protección contra incendios.

Dependiendo el tamaño del cuarto de control, éste puede estar o no subdividido. De manera general, las áreas o equipos que lo conforman son:

- Área de control (en la que se encuentran los monitores y tableros de control).
- Servidores (en donde se encuentran los equipos de tecnología de información).
- Cuarto de Control de Motores (CCMs).
- Sistemas de Alimentación Ininterrumpida o UPS (por sus siglas en ingles).



Figura 2.2 Área de servidores



Figura 2.3 CCMs

Además de lo expuesto anteriormente, es importante mencionar que ya sea en el techo y/o en el piso se encuentra el cableado que alimenta de energía eléctrica a los equipos que se encuentran en el cuarto de control así como los cables que distribuyen las señales a los equipos de proceso.

Típicamente, los incendios en las salas de control se deben al sobrecalentamiento o a un corto circuito de una pieza electrónica o de algún cable. La falla del sistema de refrigeración (aire acondicionado) dentro del cuarto, también podría conducir al sobrecalentamiento de los componentes electrónicos.

Al inicio, se presenta un fuego incipiente¹ el cual, en caso de ser detectado a tiempo se puede extinguir fácilmente y el daño puede ser mínimo. De lo contrario un fuego

¹ De acuerdo al artículo 4.12 de la Norma Oficial Mexicana de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social (NOM-002-STPS-2010) la definición de fuego incipiente es: "fuego en su etapa inicial que puede ser controlado o extinguido, mediante extintores portátiles, sistemas fijos contra incendio u otros medios de supresión convencionales, sin la necesidad de utilizar ropa y equipo de protección básico de bombero".



latente se traducirá en un incendio, que pone en riesgo al personal del cuarto de control, los equipos y por lo tanto, la operación de los procesos.

Desafortunadamente, el fuego incipiente se encuentra a menudo en un área bajo el suelo o dentro de un gabinete en donde existe la probabilidad de crecer en tamaño e intensidad sin ser notado.



Figura 2.4 Cableado debajo de plafones

Por lo anterior, el Sistema de Protección Contra Incendios (SPCI) adecuado para un cuarto de control deberá estar conformado por dos sistemas: el de detección y alarma temprana, que identifique un aumento en la concentración de las partículas de humo antes de que se presente la llama y el de extinción que actúe en caso de que se presente un fuego incipiente.

La detección y alarma que requiere un cuarto de control no es alcance de este trabajo, sin embargo, se hablará de sus características de forma general ya que es uno de los sistemas que puede activar al de extinción.



2.1. Sistema de Detección y Alarma

Debido a que al inicio del incendio la concentración de las partículas de humo que necesitan ser detectadas es baja se requiere que el sistema de detección y alarma tenga una alta sensibilidad. Siendo el equipo del tipo de muestreo o aspiración de aire el que cumple con estos requisitos.

Un equipo del tipo muestreo o aspiración de aire emplea succión de aire para identificar posibles situaciones de incendio antes de que haya humo visible o llama abierta. El aire del área protegida se extrae continuamente a través de una red de tuberías que se conectan a un detector en donde las partículas de combustión se miden en niveles de oscurecimiento tan bajos como el 0.0075% por pie (% de oscurecimiento/ft). Esto es aproximadamente 1,000 veces más sensible que un detector de humos convencional (Houghton K., 2006, p. 15)⁸.

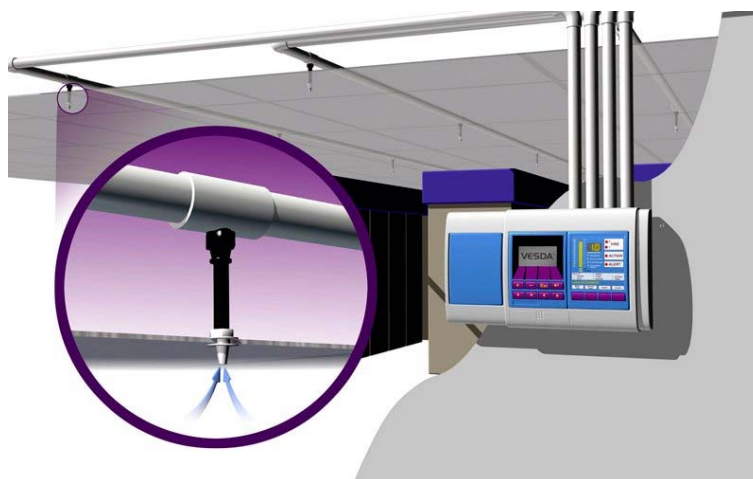


Figura 2.5 Sistema de detección temprana de humo por aspiración

Es importante recordar que las áreas que se encuentran por debajo y por arriba de los plafones (piso y techo falso) son lugares que no son supervisados



constantemente, por lo que la cobertura del sistema de detección debe incluir dichas áreas.

2.2. Sistema de Extinción

Como sistema de extinción se prefiere un sistema en seco, es decir, un sistema que no utilice agua, si no gases inertes o agentes químicos (limpios) ya que estos son ideales para la protección de equipos electrónicos y eléctricos delicados.

Por la importancia que tienen los cuartos de control, es esencial que el sistema de extinción no cause daños adicionales, como por ejemplo que se afecten otros dispositivos electrónicos por la presencia de agua.

De acuerdo con Houghtom, K (2006)⁸, otro inconveniente causado por la supresión de un incendio por agua en un cuarto de control es la interrupción del negocio pues aparte del tiempo que se requiere para reemplazar los equipos, el secar la sala de control puede ser un esfuerzo masivo. Dependiendo del tamaño y la importancia que tenga el cuarto de control para sus propietarios y usuarios, cada hora de inactividad representa miles de dólares perdidos.

Luego entonces, el SPCI adecuado para la protección contra incendios de un cuarto de control es aquel que no daña los equipo, como lo son los sistemas que utilizan como agente extinguidor gases inertes o gases químicos limpios.



Figura 2.6 Cilindros de agente limpio (FM-200®)



CAPÍTULO III. LOS AGENTES LIMPIOS

De acuerdo con Frank P. Lees (2005)⁹, los principales tipos de agentes que se utilizan para el combate de incendios son:

- Agua
- Espuma
- Líquidos Vaporizantes (Vaporizing Liquids)
- Polvos secos
- Gases inertes

Para la elección de alguno de los agentes antes mencionados, se debe tener en cuenta lo siguiente: la compatibilidad que tiene con el material incendiado y la compatibilidad con algún otro agente.

El agente extinguidor de incendios más utilizado es el agua, entre otras cosas, por su bajo costo y por su disponibilidad, sin embargo, no en todos los casos resulta conveniente utilizarla para la protección contra incendios. Por ejemplo, el agua conduce electricidad, por lo tanto, no es recomendable que se utilice en incendios ocasionados por equipos eléctricos, cuando la electricidad esté presente.

Es importante que se disponga de información completa sobre las propiedades físico-químicas de los agentes, así como de las diferentes sustancias que puedan existir dentro de la planta de proceso. Con base en esto, se deberán elegir los agentes adecuados para la protección contra incendios. Por otra parte, resulta esencial que el personal de la instalación entienda la naturaleza de los agentes extinguidores así como los riesgos asociados al uso de estos.



3.1. Líquidos Vaporizantes

Los líquidos vaporizantes extinguen un incendio esencialmente por dos mecanismos: la interrupción de las reacciones en cadena y mediante la cobertura del material combustible, (Frank P. Lees, 2005, p. 261-276)⁹.

Las sustancias utilizadas como líquidos vaporizantes son hidrocarburos halogenados tales como: halón (H), hidrofluorocarbonos (HFC), hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y perfluorocarbonos (PFC). Los halones contienen bromo y los perfluorocarbonos contienen flúor como el único halógeno.

Los halones más comunes son:

- Halón 1211; Bromoclorodifluorometano (BCF) CF_2ClBr
- Halón 1301; Bromotrifluorometano (BTM) CF_3Br

Dentro de los HCFC se encuentran:

- HCFC-22; Clorodifluorometano CHClF_2
- HCFC-124; Clorotetrafluoroetano $\text{C}_2\text{HF}_4\text{Cl}$

En la tabla 3.1 se muestra la eficiencia relativa de varios líquidos vaporizantes para apagar un fuego cuyo combustible es hexano (Hearfield, 1970)⁶. Tomando como referencia los valores mostrados en la tabla y considerando que para la extinción del fuego es necesaria una concentración de 28% de dióxido de carbono (CO_2), se concluye que los líquidos vaporizantes son mucho más eficaces que el dióxido de carbono.



Tabla 3.1

Prueba de fuego. Extinción de hexano con líquidos vaporizantes.

Nombre Químico	Extinción del fuego de	
	hexano (%v/v)	Número de Halón
Bromoclorodifluorometano (BCF) CF ₂ ClBr	5.2	1211
Dibromodifluorometano CBr ₂ F ₂	3.6	1202
Bromuro de trifluorometilo CF ₃ Br	4.2	1301
Clorobromometano CH ₂ ClBr	6.4	1011
Bromuro de metilo CH ₃ Br	7.7	1001
Tetracloruro de carbono CCl ₄	9.9	104

Nota. Fuente: (Hearfield, 1970)⁶.

Los sistemas que utilizan Halón 1211 y Halón 1301 son del tipo inundación total y se utilizan para proteger espacios cerrados. La operación consiste en la descarga del Halón en el área para que forme una concentración aproximadamente uniforme, la cual sea capaz de extinguir un fuego en cualquier parte del cuarto.

Los líquidos vaporizantes pueden clasificarse en función de su eficacia para la extinción de incendios. De acuerdo con Frank P. Lees (2005)⁹, las propiedades de un líquido vaporizante que definen su eficiencia como agente extinguidor son: su acción química, su presión de vapor y su densidad.

La capacidad de detener la combustión interfiriendo con las reacciones en cadena es obviamente una propiedad primordial (acción química). La presión de vapor es significativa en varios aspectos, ya que determina la capacidad del agente para



descargar bajo su propia presión, la medida de que el flujo en la tubería es de dos fases y su comportamiento durante la descarga.

La densidad influye en la mezcla que se forma en el área cuando el compuesto es descargado. Un agente cuya densidad es mayor que la de aire, tendera a depositarse en las partes bajas del cuarto.



Figura 3.1 Descarga de agente limpio

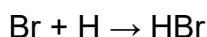
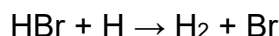
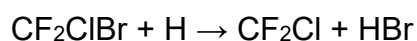
3.2. Peligros Asociados con los Líquidos Vaporizantes

Existen ciertos peligros asociados con el uso de líquidos vaporizantes. Estos incluyen los efectos tóxicos del agente, de sus productos de degradación y los productos de combustión. El primer líquido vaporizante utilizado fue el tetracloruro de carbono (CCl_4), que es tóxico, posteriormente se reemplazó por el bromuro de metilo (CH_3Br), que es altamente tóxico. El dibromofluorometano (CHBr_2F) es un convulsivo. El clorobromometano (CH_2ClBr) es moderadamente tóxico y produce narcosis. El bromoclorodifluorometano (CF_2ClBr) tiene una toxicidad aguda baja. El



bromotrifluorometano (CF_3Br) tiene una toxicidad aguda aún menor, pero también un punto de ebullición muy bajo (-58°C), por lo que el contacto con este compuesto puede causar congelación de la piel y los ojos (Frank P. Lees, 2005, p. 261-276)⁹.

Los halones actúan sustituyendo los átomos de hidrógeno que sostienen la combustión (Hewitt & Jackson, 2003, p. 109)⁷.



Por lo anterior, los líquidos vaporizantes dan lugar a productos de descomposición en incendios. Por ejemplo, el Halón 1211 (CF_2ClBr) produce cloruro de hidrógeno (HCl), bromuro de hidrógeno (HBr) y fluoruro de hidrógeno (HF), que son extremadamente irritantes para los ojos, nariz y garganta. Por esta razón no se recomienda permanecer en un cuarto protegido con estos agentes cuando el sistema se ha disparado. En la tabla 3.2 se presentan las concentraciones letales aproximadas del vapor natural para una exposición de 15 minutos:

Tabla 3.2

Concentraciones letales de líquidos vaporizantes.

Líquido	Concentración Letal (ppm)	Fórmula molecular
	Vapor Natural	
Bromuro de metilo	5,900	CH_3Br
Bromoclorodifluorometano	324,000	CF_2ClBr
Bromotrifluorometano	832,000	CF_3Br

Nota. Fuente: (Moore, 1986)¹⁰



3.3. Aplicaciones de los líquidos vaporizantes

Como se ha mencionado anteriormente, los líquidos vaporizantes se utilizan para extinguir incendios, por lo que pueden encontrarse dentro de extintores portátiles para la extinción manual o en recipientes de mayor tamaño para la protección de cuartos por inundación total.

Sin embargo, tras el hallazgo de Molina y Rowland (1974)³, se inició una creciente preocupación por el estado que guarda la capa de ozono. Ellos, descubrieron que el cloro puede actuar como un catalizador en la estratosfera para la conversión del ozono en oxígeno molecular. Posteriormente se demostró que los halones tienen un efecto especialmente perjudicial.

3.4. Agentes Limpios

Por lo expuesto en el apartado anterior, la regulación del Halón 1301 bajo el Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Reducen el Ozono Estratosférico y sus enmiendas¹¹, culminó en la eliminación gradual de la producción de halones en los países desarrollados el 31 de diciembre de 1993. Esta regulación provocó grandes esfuerzos de investigación y desarrollo alrededor del mundo para buscar sustitutos y alternativas que dañaran menos la capa de ozono. Actualmente existen más de diez alternativas gaseosas de inundación total con agentes limpios.

En la tabla 3.3 se muestran algunos de los agentes de extinción de halocarbono y gas inerte más importantes. En ella se proporciona el nombre químico, el nombre comercial, la designación por parte de la American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASH-RAE) para los halocarbonos y la fórmula química.



Tabla 3.3

Nomenclatura de los sustitutos comercializados del halón.

Nombre químico	Nombre comercial	Designación	Fórmula química
Perfluorobutano	CEA-410	FC-3-1-10	C ₄ F ₁₀
Heptafluoropropano	FM-200	HFC-277ea	C ₃ F ₇ H
Trifluorometano	FE-13	HFC-23	CHF ₃
Clorotetrafluoroetano	FE-24	HCFC-124	C ₂ HCIF ₄
Pentafluoroetano	FE-25	HFC-125	C ₂ HF ₅
Diclorotrifluoroetano (4.75%)			
Clorodifluorometano (82%)			CHCl ₂ CF ₃
Clorotetrafluoroetano (9.5%)	NAF-SIII	HCFC Mezcla A	CHClF ₂ CHClFCF ₃
Isopropenil-1- metilciclohexano (3.75%)			
Trifluoroyoduro	Triodide	FIC-131I	CF ₃ I
N ₂ /Ar/CO ₂	Inergen	IG-541	N ₂ (52%) Ar (40%) CO ₂ (8%)
N ₂ /Ar	Argonite	IG-55	N ₂ (50%) Ar (50%)
Argón	Argón	IG-01	Ar (100%)

Nota. Fuente: (National Fire Protection Association, 2009)¹².



La norma que se toma como referencia en América del Norte para el diseño e instalación de sistemas de protección contra incendios que utilizan agentes limpios es la NFPA 2001, Norma sobre Sistemas de Extinción de Incendios con Agentes Limpios. Una descripción más detallada de la norma se encuentra en el capítulo V.

Los agentes limpios que se utilizan para la supresión de incendios se definen como: “agentes extinguidores de incendios que se vaporizan rápidamente y no dejan residuos”, (National Fire Protection Association, 2009)¹². Estos, se dividen en dos grandes categorías:

- Compuestos de halocarbono.
- Gases y mezclas inertes.

Los halocarbonos incluyen compuestos que contienen carbono, hidrógeno, bromo, cloro, fluor y yodo. Éstos están agrupados en cinco categorías:

- Hidrobromofluorocarbonos (HBFC).
- Hidrofluorocarbonos (HFC).
- Hidroclorofluorocarbonos (HCFC).
- Perfluorocarbonos (FC o PFC).
- Fluoroyodocarbonos (FIC).

Si bien, las características de los agentes limpios de halocarbono varían ampliamente, tienen varias cualidades en común:

- Todos son eléctricamente no conductivos.
- Todos son agentes limpios; se vaporizan rápidamente y no dejan residuos.
- Todos son gases licuados o presentan comportamientos análogos.



- Todos pueden almacenarse y descargarse desde los equipos típicos del Halón 1301 [con la posible excepción de HFC-23, el cual se parece más a los sistemas de halón súper presurizados de 40 bar (600 psig)].
- Todos usan súper presurización de nitrógeno en la mayoría de aplicaciones para los propósitos de descarga. (excepto el HFC-23)
- Todos son agentes extinguidores de incendios menos eficientes que el Halón 1301, en términos de volumen de almacenamiento y peso del agente; el uso de la mayoría de estos agentes requiere incrementar la capacidad del almacenamiento.
- Todos son gases de inundación total; muchos requieren cuidado adicional con respecto al diseño de las boquillas y a la presión de funcionamiento para asegurar el mezclado.
- Todos producen más productos de descomposición (principalmente HF) que el Halón 1301, con un tipo de incendio, tamaño del fuego y tiempo de descarga similares.
- Actualmente, por peso (masa) todos son más costosos que el Halón 1301.

Las alternativas de los gases inertes incluyen al nitrógeno (N₂), argón (Ar) y mezclas de los mismos. Los agentes limpios de gas inerte se almacenan como gases presurizados y, por esto, requieren un volumen de almacenamiento sustancialmente mayor. Estos agentes son eléctricamente no conductivos, forman mezclas estables en el aire y no dejan residuos.

3.5. Uso de los Sistemas de Agente Limpios

Las principales ventajas de los sistemas de agentes limpios a través de la inundación total son:



- La habilidad para extinguir incendios con obstáculos, obstrucciones o de tres dimensiones en geometrías complejas.
- La habilidad, para extinguir incendios en una etapa muy temprana a través de la activación con detectores, mucho antes de que ocurran daños directos o indirectos debidos al fuego/humo.
- La habilidad para no ocasionar daños colaterales debido a la descarga del agente.

Esos tres atributos técnicos impulsan gran parte del uso de estos agentes en riesgos que involucran la presencia de líquidos inflamables y combustibles (por ejemplo: cuartos de máquinas de embarcaciones, cuartos de bombas, etc.) y en áreas para equipos electrónicos.

Por otra parte, resulta importante mencionar que existen desventajas técnicas con respecto al uso de estos agentes, como por ejemplo:

- Requieren un cuarto hermético con las puertas cerradas y ventilación extra asegurada antes de la descarga.
- Virtualmente estos agentes no proporcionan enfriamiento. Esta es una consideración importante donde se espera puedan ocurrir grandes incendios.
- Todos los elementos de detección, control, activación, liberación y los sistemas de distribución deben desempeñarse según fueron diseñados. Esto hace que se dependa más de las pruebas de aceptación y del mantenimiento posterior a la instalación.

La decisión de usar agentes limpios para la inundación total es relativamente compleja para la administración de riesgos. Hay varias recomendaciones sobre el



uso de estos sistemas en el contexto de un programa completo de protección contra incendios. A continuación se dan algunas recomendaciones.

Como regla general, nunca se debe proteger un área con un sistema de inundación total a menos que el resto del edificio esté adecuadamente protegido. Las excepciones notables a esta regla son los casos donde el único riesgo de incendio o el riesgo predominante está en el área que va a ser protegida con el agente limpio.

En las instalaciones donde la geometría del cuarto cambia frecuentemente, se requiere suficiente control administrativo de tales modificaciones para garantizar que un sistema de inundación total con agente limpio no se vuelva inoperable o inservible ya sea por los cambios en las particiones, modificaciones al equipo de detección, etc. Aunque se puede decir lo mismo para otros tipos de protección contra incendios, los sistemas de gas de inundación total son particularmente vulnerables a los cambios que puedan realizarse tanto en el cuarto (volumen e integridad) como en el sistema de detección, activación y control diseñado e instalado.

Donde quiera que sea posible, las fallas individuales de los elementos del equipo de supresión de incendios deben anticiparse y ser tenidas en cuenta en el diseño. Por ejemplo, el aumento en el volumen o áreas de fuga del cuarto a proteger con llevaría al incremento en la concentración de agente; la falla en la activación de la válvula podría justificar la inclusión de un cilindro adicional; la instalación de un sistema de detección temprana de humo por aspiración puede permitir la intervención humana antes de que se presente la descarga del agente extinguidor.

Por otra parte, es de esperarse que un área de uso significativo se encuentre dentro de lugares cuya importancia es crítica (por ejemplo un área de servidores dentro del cuarto de control), por lo que a través de una evaluación costo-beneficio puede



hacerse una reducción en cuanto a los daños ocasionados por un incendio protegiendo esas instalaciones con rociadores automáticos (además del sistema de inundación total). Tomando como referencia el costo que tienen los sistemas de agentes limpios, los rociadores automáticos representan un incremento relativamente bajo en el costo total.

Como los dos sistemas están diseñados para desempeñarse a diferentes niveles, la instalación adicional de rociadores puede considerarse como un respaldo para el equipo de inundación total. Es de esperarse, que cuando el sistema de respaldo se active, los equipos electrónicos ya hayan sufrido daños irremediables, por esto, los rociadores resultan un medio fiable para evitar pérdidas excesivamente grandes en caso de que falle el sistema primario. Para un compartimiento típico de aproximadamente 2.5 m de alto, el costo de instalar adicionalmente un sistema simple de rociadores puede ser tan bajo como igual al 5% del costo del sistema de agente limpio.

Los sistemas de agente limpio pueden ofrecer un desempeño sin igual para la extinción temprana, que como se ha mencionado, es crítica en ciertas instalaciones con equipos electrónicos así como para la supresión de incendios tridimensionales de líquidos inflamables. En este sentido, la protección contra incendios a través de la inundación total mediante agentes limpios incluye además del sistema de detección, alarma y supresión, las condiciones que presenta la integridad del cuarto a proteger así como las puertas, compuertas, ventilación/ventiladores y aislamiento de la energía eléctrica.



CAPÍTULO IV. MECANISMO DE EXTINCIÓN POR AGENTES LIMPIOS

El objetivo de este capítulo es conocer los mecanismos de extinción de un incendio por los agentes limpios.

Los agentes tales como el agua, las espumas, los líquidos vaporizantes, los polvos secos y los gases inertes pueden extinguir un incendio a través de diferentes mecanismos de operación, entre los que se encuentran (Frank P. Lees, 2005, p. 261-276)⁹:

- Enfriamiento de la llama.
- Reducción del combustible, que se puede lograr mediante:
 - Enfriamiento del líquido.
 - Dilución de líquido.
 - Emulsión de líquido.
 - Cobertura de líquido.
- Reducción del oxígeno.
- Interferencia con la reacción de combustión.

La llama puede enfriarse para hacerla inestable. El suministro de combustible se puede reducir ya sea mediante el enfriamiento, la dilución, la emulsión o a través de la cobertura superficial con algún material inerte, pues en todos esos casos se reduce su presión parcial de vapor. La presión parcial de oxígeno presente en la combustión se puede reducir diluyendo la atmósfera con gas inerte. Finalmente, la reacción en cadena (mecanismo de reacción) presente en la combustión puede ser interrumpida por el uso de un agente.



Cabe recordar que existen riesgos asociados al uso de los agentes extinguidores. Estos, están asociados principalmente con la descarga del agente, su incompatibilidad con el material en combustión, la descarga eléctrica de equipos de alta tensión y los efectos tóxicos y asfixiantes del agente o de sus productos de descomposición. Los peligros tóxicos y asfixiantes están relacionados con los sistemas que utilizan líquidos vaporizantes como los halones y gases inertes, como el dióxido de carbono y el nitrógeno.

Para la extinción o el control de incendios los agentes tales como el agua, la espuma y los polvos químicos secos se aplican directamente a la superficie del elemento combustible.

Los gases inertes y los líquidos vaporizantes se aplican a través de dos sistemas los cuales son:

- Sistema de inundación total.
- Sistema de aplicación local

Se utiliza un sistema de inundación total para proteger un espacio que está esencialmente cerrado como es el caso del cuarto de control, mientras que un sistema de aplicación local se utiliza para un peligro particular tal como un tanque abierto.

Los agentes limpios de halocarbono extinguen incendios por medio de una combinación de mecanismos físicos y químicos, dependiendo del compuesto. Los mecanismos de supresión química de los compuestos de HBFC y HFIC son similares al Halón 1301; esto es, el bromo (Br) y las especies de yodo (I) expulsan los radicales de la llama, con lo cual interrumpen la reacción química en cadena. (National Fire Protection Association, 2009)¹².



Otros compuestos suprimen los incendios principalmente extrayendo calor de la zona de reacción de la llama, reduciendo así su temperatura por debajo del rango para mantener la reacción, esto se debe a una combinación del calor de vaporización, la capacidad térmica y la energía absorbida por la descomposición del agente.

Burgess et al. (1994)⁴, realizaron simulaciones cinéticas en una gama de compuestos fluorados (CF_4 , CF_3H , CF_2H_2 , $\text{CF}_3\text{-CF}_3$, $\text{CF}_3\text{-CF}_2\text{H}$ y $\text{CF}_3\text{-CFH}_2$) para los efectos cinéticos químicos de supresión del fuego. De los agentes examinados, se observó que solo el CF_3H tenía algún efecto químico sobre la supresión de la llama. Concluyeron que las diferencias en las propiedades de supresión pueden explicarse por la diferencia en la capacidad térmica y en las cantidades relativas de calor liberado durante la combustión del agente.

Por otra parte Battin-LeClerc et al (1995)², indicaron que, mientras claramente puede ocurrir cierta inhibición no catalítica de la llama con los compuestos FC y HFC, se espera que este efecto sea limitado. Por su parte Richter et al (1995)¹⁴, obtuvieron conclusiones similares, debido a la inhabilidad de los átomos de flúor para reciclarse continuamente en la llama, como ocurre con los compuestos con átomos de bromo.

La reducción del oxígeno también juega un papel importante en la extinción de un incendio. La energía absorbida en la descomposición del agente debido al rompimiento de los enlaces de flúor y cloro es bastante importante, particularmente con respecto a la formación y producción de descomposición. Indudablemente existe cierto grado de acción de la supresión química en la combustión radical de la llama con los halógenos, pero se considera que ésta es de menor importancia, puesto que no es catalítica, (National Fire Protection Association, 2009)¹².



La falta de una inhibición significativa de la reacción química en la zona de la llama por los compuestos de HCFC, HFC y FC, produce concentraciones de extinción más elevadas, con relación al Halón 1301. La importancia relativa de la disminución de la energía, representada por el rompimiento de los enlaces con los halógenos, produce niveles más altos de descomposición del agente, en comparación con el Halón 1301.

Los agentes de gas inerte suprimen las llamas al reducir la temperatura de la llama por debajo de los umbrales que son necesarios para mantener las reacciones de combustión. Esto se hace reduciendo la concentración de oxígeno y elevando la capacidad térmica de la atmósfera que mantiene la llama. Por ejemplo, la adición de una cantidad suficiente de nitrógeno para reducir la concentración de oxígeno por debajo del doce por ciento (en aire) extingue incendios llameantes. La concentración requerida del agente (y, por lo tanto, el nivel mínimo de oxígeno) es una función de la capacidad térmica del gas inerte agregado. Por consiguiente, entre los gases inertes existe diferencia en la concentración mínima de extinción.

En la tabla 4.1 se muestran las diferencias entre el argón (Ar) y el nitrógeno (N₂), con concentraciones de extinción del nitrógeno en el rango del 30% (14.6% de O₂) y concentraciones de extinción del argón del 41% (12.3% de O₂). Las mezclas de gas inerte con más nitrógeno que argón tendrán concentraciones mínimas de extinción más bajas.



Tabla 4.1

Valores de extinción del quemador de vaso con *n*-heptano* provenientes de varios investigadores (de la NFPA 2001, excepto donde se indica).

Referencia	Nitrógeno	FC-3-1-10	HFC-227ea	HFC-23	Halón 1301	CO ₂	Argón
Sheinson	30.0	5.2	6.6	12	3.1	21.0	41.0
3M		5.9	-	-	3.9	-	-
NMERI	-	5.0	6.3	12.6	2.9	-	38.0
Senecal, Fenwal	-	5.5	5.8	12 (13)	3 (3.5)	-	-
Robin	-	-	5.9	12.7	3.5	-	-
NIST	32	5.3	6.2	12	3.2	-	-
Hamins et al	-	-	-	-	-	23.0	41.0
Hirst and Booth	-	-	-	-	-	20.5	-

* Para más información sobre el método de quemador de vaso ver el anexo B de la norma NFPA 2001, edición 2015.

Nota. Fuente: (National Fire Protection Association, 2009)¹².



CAPÍTULO V. NORMA NFPA 2001

El objetivo en este capítulo es describir el contenido de la norma NFPA 2001 cuyo nombre es, “Norma sobre Sistemas de Extinción mediante Agentes Limpios”.

El Comité Técnico de Opciones de Protección Alternativas al Halón fue creado en 1991; iniciando inmediatamente sus trabajos dedicados a los nuevos agentes limpios de extinción por inundación total que se habían desarrollado para sustituir al Halón 1301. Existía la necesidad de explicar cómo diseñar, instalar, mantener y operar sistemas usando estos nuevos agentes limpios, y se estableció la NFPA 2001 como medio para cubrir esta necesidad. La edición de 1994 fue la primera NAFPA 2001. El estándar fue revisado en 1996, 2000 y 2004. A la fecha de elaboración de este trabajo, la última edición de la norma NFPA 2001 data del 2015.

En enero de 2005, el comité técnico responsable de las normas NFPA 12 (Estándar sobre sistemas de extinción de Dióxido de Carbono), 12A (Estándar en sistemas de extinción de incendios Halón 1301) y NFPA 2001 fue unificado en el Comité Técnico sobre Sistemas de Extinción de Incendios Mediante Gases para tratar y resolver mejor los temas relativos a estos documentos. Con esta acción se pretendió facilitar la correlación y coherencia como se requiere por la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos (EPA).

La edición de 2008 añadió requisitos para sistemas de aplicación local. La edición de 2012 incluyó una nueva versión del Anexo C Procedimiento de Integridad del Recinto. Además, se añadió al Anexo A más información sobre el impacto al medio ambiente de los agentes limpios.

La edición 2015 añade contenido nuevo relativo al reciclaje y eliminación de agentes limpios y añade nuevos criterios de diseño para sistemas IG-01 de 200 bar y 300



bar. Se añadió un modelo de informe de conformidad de sistema como ayuda para el cumplimiento de los métodos de puesta en servicio. El comité realizó una actualización de todas las referencias y cotejó los criterios de diseño de las tuberías con el código de tuberías referenciado. En esta edición también se revisan los requisitos para la ubicación de los cilindros, la integridad del recinto y los espacios desocupados.

La norma NFPA 2001 está constituida por ocho capítulos y cinco anexos, el nombre de dichos capítulos y anexos se muestran a continuación:

Capítulos

1. Generalidades.
2. Publicaciones de Referencia.
3. Definiciones.
4. Componentes.
5. Diseño del Sistema.
6. Sistemas de aplicación local.
7. Inspección, prueba, mantenimiento y formación.
8. Sistemas Marítimos.

Anexos

- A. Aclaraciones.
- B. Método del quemador de vaso para determinar la concentración mínima de extinción de llama para un agente gaseoso.
- C. Procedimiento de integridad del recinto.
- D. Evaluación del Recinto.
- E. Referencias informativas.



5.1. Generalidades

El alcance de esta norma contiene los requisitos mínimos para los sistemas de extinción de incendios por inundación total que utilizan agentes limpios. Entendiéndose como agente limpio aquel agente extinguidor que no es un conductor eléctrico y que no deja residuos tras su evaporación.

No considera los sistemas de extinción que emplean dióxido de carbono o agua como agentes primarios de extinción, los cuales se tratan en otros documentos de la NFPA.

A saber: los requerimientos de los sistemas que utilizan como agente extinguidor dióxido de carbono se encuentran establecidos en la NFPA 12 (Estándar sobre sistemas de extinción de Dióxido de Carbono).

Referente a los sistemas base agua, la norma que se tomará como referencia dependerá del tipo de sistema. Para rociadores deberá consultarse la NFPA 13 (Estándar para la instalación de sistemas de rociadores) o la NFPA 15 (Estándar para sistemas fijos de aspersion para protección contra incendios) para los sistemas de aspersion.

Cabe mencionar que los agentes considerados en la NFPA 2001 se presentaron como respuesta a las restricciones internacionales sobre la producción de ciertos agentes extinguidores bajo el Protocolo de Montreal, firmado el 16 de septiembre de 1987. También, conviene aclarar que con esta norma, la NFPA, no pretende restringir nuevas tecnologías o prácticas alternativas, siempre y cuando éstas aporten un nivel de seguridad no inferior al de la NFPA 2001.



Los agentes que se encuentran dentro de la NFPA 2001 y que cumplen con las características de no ser conductores de la electricidad y no dejar residuos tras su evaporación, se muestran en la tabla 5.1

Tabla 5.1

Agentes considerados en NFPA 2001.

Denominación del agente	Nombre químico	Fórmula
FK-5-1-12	Dodecafluoro-2-metilpentano-3-uno	$CF_3CF_2C(O)CF(CF_3)_2$
HCFC Mezcla A	Diclorotrifluoroetano HCFC-123 (4.75%)	$CHCl_2CF_3$
	Clorodifluorometano HCFC-22 (82%)	$CHClF_2$
	Clorotetrafluoroetano HCFC-124 (9.5%)	$CHClF_2CF_3$
	Isopropenil-1-metilciclohexano (3.75%)	
HCFC-124	Clorotetrafluoroetano	$CHClF_2CF_3$
HFC-125	Pentafluoroetano	$CHCF_2CF_3$
HFC-227ea	Heptafluoropropano	$CF_3CHF_2CF_3$
HFC-23	Trifluorometano	CHF_3
HFC-236fa	Hexafluoropropano	$CF_3CH_2CF_3$
FIC-1311	Trifluoroiodometano	CF_3I
IG-01	Argon	Ar
IG-100	Nitrogeno	N_2
	Nitrogeno (52%)	N_2
IG-541	Argon (40%)	Ar
	Dioxido de Carbono (8%)	CO_2
IG-55	Nitrogeno (50%)	N_2
	Argon (50%)	Ar



Tabla 5.1

Agentes considerados en NFPA 2001.

Denominación del agente	Nombre químico	Fórmula
HFC Mezcla B	Tetrafluoroetano (86%)	CH ₂ FCF ₃
	Pentafluoroetano (9%)	CHF ₂ CF ₃
	Dióxido de Carbono (5%)	CO ₂

Notas:

- (1) En un futuro podría disponerse de otros agentes. Estos podrían incorporarse, mediante el proceso de NFPA, en futuras ediciones o enmiendas de este estándar.
- (2) La composición de los gases inertes viene dada como porcentaje en volumen. La composición del HCFC Mezcla A viene dada como porcentaje en peso.
- (3) La nomenclatura análoga completa ASHRAE para FK-5-1-12 es FK-5-1-12mmy2

Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.

Para la selección de alguno de los agentes mostrados en la tabla anterior, deberá tenerse en cuenta la compatibilidad entre dicho agente y el material al que protegerá. De manera general, no deberán utilizarse agentes limpios sobre incendios en los que se vean implicados los siguientes productos, al menos que hayan sido probados y el resultado sea autorizado por la autoridad competente²:

- Ciertas sustancias químicas o mezclas de estas, como nitrato de celulosa y pólvora, que son capaces de sufrir una oxidación rápida en ausencia de aire.
- Metales reactivos como el litio, sodio, potasio, magnesio, titanio, circonio, uranio y plutonio.
- Hidruros metálicos.
- Sustancias químicas capaces de experimentar una descomposición térmica, como la hidracina y algunos peróxidos orgánicos.

² Autoridad competente: se refiere al organismo, institución o persona responsable de exigir los requisitos de un código o estándar o de aprobar un equipo, materiales, una instalación o un procedimiento. (National Fire Protection Association, 2015)



También, es importante tener en cuenta que para los sistemas de inundación total debe proveerse un espacio cerrado alrededor del riesgo que se va a proteger el cual permita alcanzar una determinada concentración de agente y mantenerla durante un periodo específico de tiempo. Es decir, se debe asegurar que el cuarto protegido por el agente limpio sea un lugar con cierta hermeticidad.

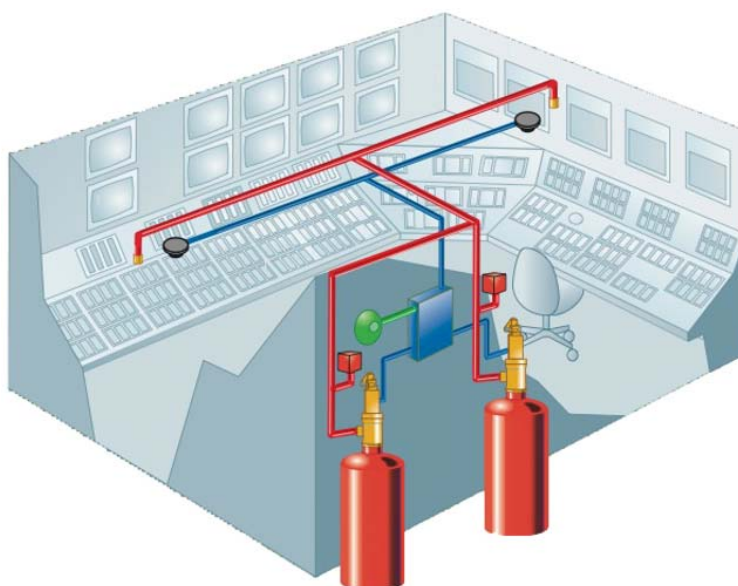


Figura 5.1 Sistema de agente limpio para proteger un cuarto de control mediante la inundación total

Peligros para las personas

En la norma se establece que todo agente que se encuentra dentro del documento propuesto para su inclusión al mismo deberá ser evaluado de forma equivalente al procedimiento utilizado en el programa SNAP de la Agencia de Protección al Medio Ambiente Norte Americana (U.S. Environmental Protection Agency, EPA).

En dicha norma se establece que todo agente que sea propuesto para su inclusión a la misma deberá ser evaluado de forma equivalente al procedimiento utilizado en el programa SNAP de la Agencia de Protección al Medio Ambiente Norte Americana



(U.S. Environmental Protection Agency, EPA). Los agentes que actualmente se encuentran dentro del documento, también cumplen con este requisito.

Agentes halocarbonados

Para los agentes halocarbonados, se debe evitar cualquier exposición innecesaria a estos y a sus productos de descomposición, incluso a concentraciones inferiores al NOAEL (máxima concentración para la cual no se ha observado ningún efecto adverso de carácter fisiológico o tóxico). También deben proporcionarse medios (por ejemplo alarmas de pre descarga o temporizadores) para limitar la exposición a no más de 5 minutos. Es importante que durante o después de la descarga del agente no ingrese personal al cuarto.



Figura 5.2 Señalamiento que se coloca en la puerta del cuarto protegido



Aunque la recomendación general es evitar la exposición de las personas al agente, en la norma se establece lo siguiente:

1. En cuartos normalmente ocupados, se deberán permitir sistemas de agentes halocarbonados diseñados para concentraciones hasta el NOAEL (ver tabla 5.2). El tiempo máximo de exposición no deberá en ningún caso exceder los 5 minutos.

Tabla 5.2

Información sobre agentes halocarbonados limpios.

Agente	NOAEL (% vol.)	LOAEL (% vol.)
FK-5-1-12	10.0	>10.0
HCFC Mezcla A	10.0	>10.0
HCFC-124	1.0	2.5
HFC-125	7.5	10.0
HFC-277ea	9.0	10.5
HFC-23	30	>30
HFC236fa	10	15
HFC Mezcla B*	5.0*	7.5*

Notas:

* Estos valores son para los componentes mayores de la mezcla (HFC 134A).

Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.

2. En cuartos normalmente ocupados, se deberán permitir sistemas de agentes halocarbonados diseñados para concentraciones superiores al NOAEL (ver tabla 5.2) si se proporcionan medios para limitar la exposición a las concentraciones de diseño mostradas en las tablas 5.3 a 5.6 que corresponden a un tiempo de exposición de 5 minutos.



En cuartos normalmente ocupados no deberán permitirse concentraciones de diseño superiores para tiempos de exposición inferiores a 5 minutos a las mostradas en las tablas 5.3 a 5.6

Tabla 5.3

Tiempo de exposición humana segura a diferentes concentraciones de HFC-125.

HFC-125 Concentración		Máximo tiempo permitido de exposición humana
% vol.	ppm	(minutos)
7.5	75,000	5.00
8.0	80,000	5.00
8.5	85,000	5.00
9.0	90,000	5.00
9.5	95,000	5.00
10.0	100,000	5.00
10.5	105,000	5.00
11.0	110,000	5.00
11.5	115,000	5.00
12.0	120,000	1.67
12.5	125,000	0.59
13.0	130,000	0.54
13.5	135,000	0.49

Notas:

(1) Datos tomados de la EPA, aprobados y evaluados fisiológicamente con base al modelo farmacocinético (PBPK) o su equivalente.

(2) Basado en un LOAEL de 10.00% en perros.

Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.



Tabla 5.4

Tiempo de exposición segura a diferentes concentraciones de HFC-227ea.

HFC-227ea Concentración		Máximo tiempo permitido de exposición humana
% vol.	ppm	(minutos)
9.0	90,000	5.00
9.5	95,000	5.00
10.0	100,000	5.00
10.5	105,000	5.00
11.0	110,000	1.13
11.5	115,000	0.60
12.0	120,000	0.49

Notas: (1) Datos derivados del modelo PBPK o su equivalente, aprobados y revisados por la EPA.

(2) Basado en un LOAEL de 10.5% en perros.

Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.

Tabla 5.5

Tiempo de exposición humana segura a diferentes concentraciones de HFC-236fa.

HFC-236fa Concentración		Máximo tiempo permitido de exposición humana
% vol.	ppm	(minutos)
10.0	100,000	5.00
10.5	105,000	5.00
11.0	110,000	5.00
11.5	115,000	5.00
12.0	120,000	5.00
12.5	125,000	5.00
13.0	130,000	1.65



Tabla 5.5

Tiempo de exposición humana segura a diferentes concentraciones de HFC-236fa.

HFC-236fa Concentración		Máximo tiempo permitido de exposición humana
% vol.	ppm	(minutos)
13.5	135,000	0.92
14.0	140,000	0.79
14.5	145,000	0.64
15.0	150,000	0.49

Notas:

(1) Datos derivados del modelo PBPK o su equivalente, aprobados y revisados por la EPA.

(2) Basado en un LOAEL de 15.0% en perros.

Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.

Tabla 5.6

Tiempo de exposición humana segura a diferentes concentraciones de FIC-1311.

FIC-1311 Concentración		Máximo tiempo permitido de exposición humana
% vol.	ppm	(minutos)
0.20	2,000	5.00
0.25	2,500	5.00
0.30	3,000	5.00
0.35	3,500	4.30
0.40	4,000	0.85
0.45	4,500	0.49
0.50	5,000	0.35

Notas: (1) Datos derivados del modelo PBPK o su equivalente, aprobados y revisados por la EPA.

(2) Basado en un LOAEL de 0.4% en perros.

Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.



3. En lugares que normalmente no se encuentran ocupados y protegidos por un sistema halocarbonado diseñado para concentraciones superiores al LOAEL (mínima concentración para la cual se ha observado algún efecto adverso de carácter fisiológico o tóxico) como se muestra en la tabla 5.2 y donde exista la posibilidad de que el personal pudiera estar expuesto, deberá disponerse de medios para limitar los tiempos de exposición usando las tablas 5.3 a 5.6.
4. Por último, en lugares que no están normalmente ocupados y en ausencia de información necesaria para cumplir con lo dispuesto en los puntos anteriores, se deberán considerar y tomar las siguientes precauciones:
 - 4.1. Cuando la evacuación del cuarto dure más de 30 segundos, pero menos de 1 minuto, el agente halocarbonado no debe utilizarse en concentraciones que superen su LOAEL.
 - 4.2. Las concentraciones que superan el LOAEL deberán permitirse siempre que cualquier persona pueda escapar en menos de 30 segundos.
 - 4.3. Deberá proporcionarse una alarma de predescarga y un temporizador.

Agentes limpios inertes

Al igual que para los agentes halocarbonados, debe evitarse la exposición innecesarias a los sistemas de gases inertes, debido a que estos, provocan atmósferas deficientes de oxígeno. El tiempo máximo de exposición nunca deberá exceder los 5 minutos. También deberá proporcionarse una alarma de pre descarga y un temporizador así como evitar el ingreso del personal al área durante y después de la descarga.



Aunque la recomendación general es evitar la exposición de las personas al agente inerte, en la norma se establece lo siguiente:

1. Se deberán permitir sistemas de gases inertes diseñados para concentraciones inferiores a un 43% (que corresponde a una concentración de oxígeno del 12%) cuando se proporcionan medios para limitar el tiempo de exposición a no más de 5 minutos.
2. Se deberán permitir sistemas de gases inertes diseñados para concentraciones comprendidas entre un 43% y un 52% (que corresponde a una concentración de oxígeno entre un 12% y un 10%) cuando se proporcionan medios para limitar el tiempo de exposición a no más de 3 minutos.
3. Se deberán permitir sistemas de gases inertes diseñados para concentraciones comprendidas entre un 52% y un 62% (que corresponde a una concentración de oxígeno entre un 10% y un 8%) en las siguientes circunstancias:
 - 3.1. El lugar normalmente no este ocupado.
 - 3.2. Se dispongan los medios necesarios para que el tiempo de exposición no supere los 30 segundos, cuando exista la posibilidad de que las personas queden expuestas.
4. Los sistemas de gases inertes diseñados para una concentración superior a un 62% (que corresponde a una concentración de oxígeno de un 8% o inferior) sólo se permitirán en áreas no ocupadas.



Requisitos de Seguridad

Referente a la seguridad del personal, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Se deben disponer de salvaguardas convenientes para asegurar una evacuación rápida y para evitar el acceso a la exposición de la atmósfera en la que se encuentra el agente limpio.
2. Se deben disponer los medios necesarios para el rescate en caso de que alguna persona quede atrapada.
3. También, se debe considerar la formación del personal, señales de aviso, alarmas de descarga, equipos de respiración autónoma, planes de evacuación y prácticas de extinción.
4. Deben tomarse las medidas de seguridad alrededor del lugar protegido por algún agente limpio, ya que debiera considerarse la posibilidad de que dicho agente penetre en áreas adyacentes externas al espacio protegido.

Para sistemas que protegen áreas normalmente ocupadas y que superan las concentraciones de diseño aprobada para espacios normalmente ocupadas (ver apartados *Agentes halocarbonados* y *Agentes limpios inertes* dentro del tema 5.1) los sistemas deberán incluir lo siguiente:

- Válvulas supervisadas de enclavamiento del sistema.
- Alarmas neumáticas de pre descarga.
- Temporizadores neumáticos.

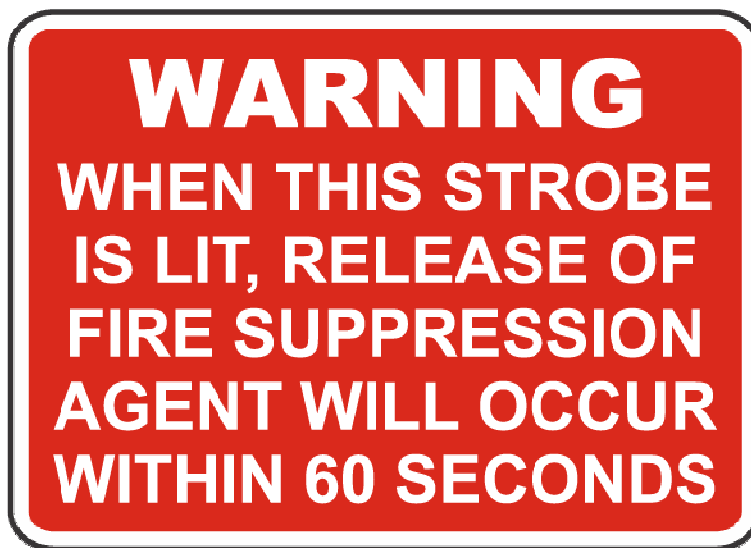


Figura 5.3 Señalamiento que indica el tiempo en que se descargará el agente

Otro aspecto a tener en cuenta para los sistemas de agentes limpios es la separación con elementos eléctricos ya que todos los componentes del sistema se mantendrán a una distancia mínima de separación de los elementos eléctricos con carga. Para determinar la distancia mínima, se deberán consultar las siguientes norma: ANSI C2; NFPA 70; 29 CFR 1910, Subparte S.

Cuando se seleccione un agente para la protección de un área, deberán considerarse los efectos que tendrá en el medio ambiente. Es decir, se deberán tener en cuenta las siguientes características:

Posible efecto en el medio ambiente de un incendio en el área protegida y el efecto ambiental, incluyendo entre otros el potencial de destrucción del ozono (ODP) y el potencial de calentamiento global (GWP) de los distintos agentes que se pudieran utilizar.



5.2. Publicaciones de Referencia

En este capítulo se encuentra la información completa (título, organismo y edición) de los documentos que se citan en la NFPA 2001.

5.3. Definiciones

En el capítulo tres se encuentran las definiciones de los términos que se utilizan a lo largo de la norma.

5.4. Componentes

5.4.1. Almacenamiento de Agente.

Para el abastecimiento del agente limpio, se debe considerar lo siguiente:

- Abastecimiento de Agente Primario: La cantidad de agente debería ser la suficiente para al menos proteger el mayor riesgo individual o grupo de riesgos a proteger.
- Abastecimiento de Agente de Reserva: Cuando se requiera, el abastecimiento de reserva constará de tantos abastecimientos primarios como la autoridad competente solicite. Algunas de las razones por las que se recomendaría contar con sistema de reserva son:
 - Aportar fiabilidad ante el fallo en la alimentación principal.
 - Aportar protección mientras se estén sustituyendo los cilindros principales.



- Disponer de protección en otros riesgos cuando existan válvulas selectoras y se protejan diversos riesgos con la misma batería de cilindros.



Figura 5.4 Cilindros que contienen agente limpio

- Protección ininterrumpida: cuando se requiera una protección ininterrumpida el abastecimiento de agente primario y el de reserva deberán estar conectados siempre a la tubería de distribución.
- Calidad: Las propiedades del agente limpio deberán cumplir los estándares de calidad mostrados en las tablas 5.7 a 5.10.



Tabla 5.7

Requisitos de calidad para agentes halogenados.

Propiedad	Especificación
Pureza mínima del agente, % molar	99.0
Acidez máxima, ppm (en peso de HCl equivalente)	3.0
Contenido máximo de agua, % en peso	0.001
Residuos no volátiles máximos, g/100 ml	0.05

Nota. Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.

Tabla 5.8

Requisitos de calidad para agentes gaseosos inertes.

Composición	Gas	IG-01	IG-100	IG-541	IG-55
Composición, % en volumen	N ₂		Mínimo 99.9%	52% ±4%	50% ±5%
		Ar	Mínimo 99.9%	40% ±4%	50% ±5%
	CO ₂			8% + 1% -0.0%	
Contenido de agua, % en peso		Máximo 0.005%	Máximo 0.005%	Máximo 0.005%	Máximo 0.005%

Nota. Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.



Tabla 5.9

Requisitos de calidad para el HCFC Mezcla A.

Componente	Cantidad (% en peso)
HCFC-22	82% ± 0.8%
HCFC-124	9.50% ± 0.9%
HCFC-123	4.75% ± 0.5%
Isopropenil-1-metilciclohexeno	3.75% ± 0.5%

Nota. Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.

Tabla 5.10

Requisitos de calidad para el HFC Mezcla B.

Componente	Cantidad (% en peso)
HCFC-134a	86% ± 5%
HCFC-125	9% ± 3%
CO2	5% ± 2%

Nota. Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.

- Disposición del recipiente de almacenamiento: Los recipientes de almacenamiento y sus accesorios deberán situarse y disponerse de tal forma que faciliten los trabajos de inspección, prueba, recarga, otras tareas de mantenimiento, que se reduzca la posibilidad de interrupción de la protección, situarse dentro o fuera del(os) riesgo(s) que protege(n), evitar su ubicación donde posibles daños mecánicos, la exposición a agente químicos, las inclemencias del tiempo u otros factores puedan afectar su operación.



Figura 5.5 Cilindro ubicado en el exterior (Villahermosa, Tabasco)

Los recipientes de almacenamiento deberán instalarse de conformidad con lo establecido en el manual de instalación del fabricante, por último y cuando los recipientes estén conectados a un cabezal deberán disponerse mecanismos automáticos, como puede ser una válvula de retención, para evitar pérdidas de agente y aportar seguridad al personal en caso de que el sistema entre en funcionamiento cuando los recipientes son retirados para su mantenimiento.

- Recipiente para el almacenamiento del agente: Los agentes deberán almacenarse en recipientes diseñados para mantenerlos a temperatura ambiente y deberán ser cargados con una densidad de llenado o nivel de sobre presurización dentro del rango especificado por el manual listado del fabricante.

Además todo recipiente dispondrá de una placa u otra marca permanente que indique lo siguiente:



- En recipientes de agentes halocarbonados, el tipo de agente, tara, peso bruto y nivel de sobre presurización del recipiente (en su caso).
- En recipientes de gases inertes, el tipo de agente, el nivel de presurización del recipiente y el volumen nominal del agente.

Las temperaturas de almacenamiento de los recipientes deberán estar dentro de los límites establecidos por el fabricante.

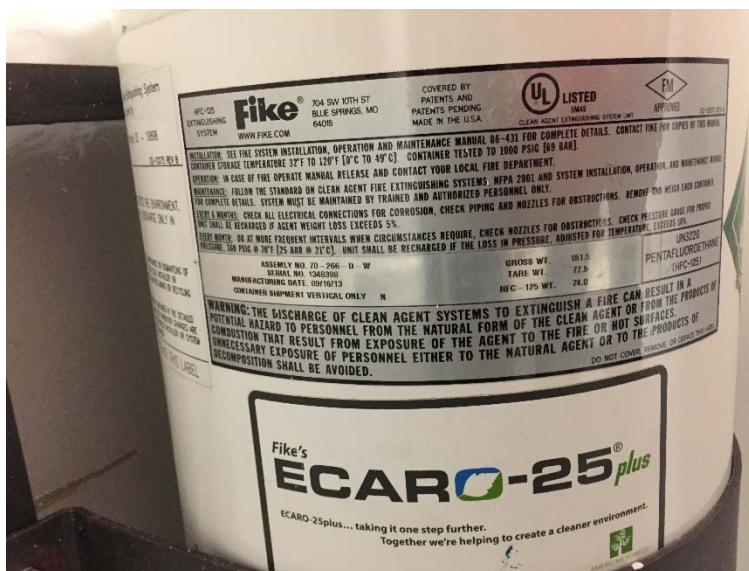


Figura 5.6 Placa de identificación.

5.4.2. Distribución

Las tuberías que distribuyen al agente extinguidor en el área deben cumplir con lo siguiente:

1. En ambientes de alta corrosión deberán requerirse materiales o recubrimientos especiales resistentes a la misma.



2. El espesor de la tubería se deberá calcular cumpliendo con el código ASME B31.1. Power Piping Code. La presión interna utilizada para este cálculo no deberá ser inferior al mayor de los siguientes valores:
- La presión normal de carga en el recipiente a 70°F (21°C).
 - El 80% de la presión máxima en el recipiente a la temperatura máxima de almacenamiento, no inferior a 130°F (55°C), utilizando, en su caso, la densidad de llenado máxima permisible por el fabricante del equipo.
 - Para agentes gaseosos inertes la presión utilizada para este cálculo será como sigue:

En ningún caso el valor utilizado para la presión mínima de diseño de las tuberías deberá ser inferior a lo especificado en las tablas 5.11 y 5.12 para las condiciones indicadas.

Tabla 5.11

Presión de diseño mínima para tuberías de sistemas de agentes limpios basados en gases inertes.

Presión del manómetro del recipiente del agente a 70°F (21°C)			Presión del manómetro del recipiente del agente a 130°F (55°C)		Presión mínima de diseño de la tubería aguas arriba del reductor de presión	
Agente	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa
IG-01	2,370	16,341	2,650	18,271	2,370	16,341
	2,964	20,436	3,304	22,781	2,964	20,436
	4,510	31,097	5,402	37,244	4,510	31,097
IG-541	2,175	14,997	2,575	17,755	2,175	14,997
	2,900	19,996	3,433	23,671	2,900	19,996
	4,503	31,050	5,359	36,950	4,503	31,050



Tabla 5.11

Presión de diseño mínima para tuberías de sistemas de agentes limpios basados en gases inertes.

Presión del manómetro del recipiente del agente a 70°F (21°C)	Presión del manómetro del recipiente del agente a 130°F (55°C)				Presión mínima de diseño de la tubería aguas arriba del reductor de presión	
	psi	bar	psi	bar	psi	bar
IG-55	2,175	15,000	2,541	17,600	2,175	15,000
	2,900	20,000	3,434	23,700	2,900	20,000
	4,350	30,000	5,222	36,100	4,350	30,000
IG-100	2,404	16,575	2,799	19,299	2,404	16,575
	3,236	22,312	3,773	26,015	3,236	22,312
	4,061	28,000	4,754	32,778	4,061	28,000

Nota. Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.

Tabla 5.12

Presión de diseño mínima para tuberías de sistemas de agentes limpios basados en halocarbonados.

Agente	Densidad máxima de llenado del recipiente del agente		Presión de carga del recipiente del agente a 70°F (21°C)		Presión de carga del recipiente del agente a 130°F (55°C)		Presión mínima de diseño de la tubería	
	lb/ft ³	kg/m ³	psi	bar	psi	bar	psi	bar
	HFC-277ea	79	1,265	44*	3	135	9	416
	75	1,201	150	10	249	17	200	14
	72	1,153	360	25	520	36	416	29
	72	1,153	600	41	1,025	71	820	57



Tabla 5.12

Presión de diseño mínima para tuberías de sistemas de agentes limpios basados en halocarbonados.

Agente	Densidad máxima de llenado del recipiente del agente		Presión de carga del recipiente del agente a 70°F (21°C)		Presión de carga del recipiente del agente a 130°F (55°C)		Presión mínima de diseño de la tubería	
	lb/ft ³	kg/m ³	psi	bar	psi	bar	psi	bar
	HCFC Mezcla A	56.2	900	600	41	850	59	680
	56.2	900	360	25	540	37	432	30
HFC 23	54	865	608.9**	42	2,182	150	1,746	120
	48	769	608.9**	42	1,713	118	1,371	95
	45	721	608.9**	42	1,560	108	1,248	86
	40	641	608.9**	42	1,382	95	1,106	76
	35	561	608.9**	42	1,258	87	1,007	69
	30	481	608.9**	42	1,158	80	927	64
HCFC-124	74	1,185	240	17	354	24	283	20
HCFC-124	74	1,185	360	25	580	40	464	32
HFC-125	54	865	360	25	615	42	492	34
HFC-125	56	897	600	41	1,045	72	836	58
HFC-236fa	74	1,185	240	17	360	25	280	19
HFC-236fa	75	1,201	360	25	600	41	480	33
HFC-236fa	74	1,185	600	41	1,100	76	880	61
HFC Mezcla B	58	929	360	25	586	40	469	32



Tabla 5.12

Presión de diseño mínima para tuberías de sistemas de agentes limpios basados en halocarbonados.

Agente	Densidad máxima de llenado del recipiente del agente		Presión de carga del recipiente del agente a 70°F (21°C)		Presión de carga del recipiente del agente a 130°F (55°C)		Presión mínima de diseño de la tubería	
	lb/ft ³	kg/m ³	psi	bar	psi	bar	psi	bar
	FK-5-1-12	58	929	600	41	888	61	710
90		1,442	150	10	175	12	150	10
90		1,442	195	13	225	16	195	13
90		1,442	360	25	413	28	360	25
75		1,201	500	34	575	40	500	34
90	1,442	610	42	700	48	610	42	

Notas:

* Nitrógeno introducido en el recipiente del agente a través de una restricción de flujo en el sistema de actuación. La presión del suministro de nitrógeno es 1,800 psi (124 bar) a 70°F (21°C).

** No sobre presurizado con nitrógeno.

Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.

Si se aprueban diferentes densidades de llenado, niveles de presurización o temperaturas de almacenamiento superiores diferentes a los mostrados en la tabla 5.11 o 5.12 para un sistema determinado, la presión mínima de diseño de la tubería se ajustará a la presión máxima en el recipiente a la máxima temperatura, utilizando los criterios de diseño básicos especificados en este punto.

3. Cuando se utilicen tubos flexibles o mangueras, incluyendo conexiones, deberán ser de materiales y presiones aprobadas. No se utilizará tubería de



hierro fundido, tubería de acero conforme a ASTM A120 o tubería no metálica.

4. Toda sección de tuberías deberá limpiarse internamente, después de la preparación y antes del montaje empleando un limpiador adecuado y no inflamable.
5. Juntas de tuberías. Las uniones de tuberías que no sean de tipo roscado, soldado, de abrazadera o de brida, deberán estar listadas y aprobadas.
6. Los accesorios deberán tener una presión de trabajo mínima de régimen igual o superior a la presión de diseño mínima especificada en el segundo punto de este apartado (*5.4.2 Distribución*) para el agente limpio utilizado o de lo contrario encontrarse aprobado o listado. No deberán utilizarse accesorios de hierro fundido. Tampoco podrán utilizarse accesorios de clase 150.
7. Todas las válvulas deberán ser listadas o aprobadas para el uso que se pretende utilizar, además, todas las juntas, anillos, sellados y otros componentes de las válvulas deberán estar fabricados con materiales compatibles con el agente, las válvulas deberán protegerse frente a daños mecánicos, químicos o de otro tipo, en atmosferas altamente corrosivas deberán utilizarse recubrimientos o materiales especiales resistentes a la corrosión.
8. Las boquillas de descarga deberán estar certificadas para el uso que se pretenda. Los criterios de certificación deberán incluir características de flujo, área de cobertura, límites de altura, presiones mínimas. Los orificios de descarga y las placas de estos deberán ser de material resistente a la



corrosión, al agente utilizado y a la atmósfera de la aplicación. También, estarán marcadas permanentemente a fin de identificar el fabricante, así como el tamaño y tipo de orificio.



Figura 5.7 Boquilla de descarga

5.4.3. Sistemas de detección, actuación, alarma y control.

Para los sistemas de detección, actuación, alarma y control, de forma general se requiere lo siguiente:

- Los sistemas de detección, actuación, alarma y control deberán estar instalados probados y mantenidos de forma que cumplan con los estándares apropiados de la NFPA. A saber: NFPA 70 National Electrical Code y NFPA 72 National Fire Alarm and Signaling Code.



- Para soportar el funcionamiento de la detección, señalización, control y actuaciones del sistema se deberá utilizar una fuente principal de alimentación eléctrica y una secundaria de 24 horas de autonomía mínima.
- Los dispositivos de actuación deberán incluir las válvulas o elementos para la liberación del agente, los controles de descarga y el equipo de interrupción, todos ellos necesarios para que el sistema opere correctamente. La activación se deberá realizar con mecanismos neumáticos, eléctricos o mecánicos listados. También se deberán disponer de medios para la activación manual del sistema, esta activación deberá realizarse mediante una actuación mecánica o eléctrica.
- El retiro de un actuador eléctrico de la válvula de descarga del recipiente de almacenamiento del agente que la controla deberá producir una indicación visual y audible de avería en el panel de control. El equipo de control también deberá supervisar los dispositivos de actuación y su cableado y, si procede, provocar la actuación.
- Deberán utilizarse alarmas o avisadores para indicar la activación del sistema, los peligros para el personal o el fallo de cualquier dispositivo supervisado. El tipo (sonora, visual u olfativa), el número y la ubicación de los dispositivos deberán ser tales que se cumpla satisfactoriamente su función. La actuación de estos dispositivos deberá continuar después de la descarga del agente y hasta que la señal haya sido recibida.
- En los sistemas con agentes limpios se deberá disponer de una alarma de pre descarga y de un temporizador, suficiente para permitir la evacuación de los ocupantes antes de la descarga. Deberá permitirse prescindir de este



retardo en aquellas áreas de riesgo en donde puedan producirse incendios de desarrollo rápido, de forma que un retraso en de la descarga pudiera poner seriamente en peligro las vidas y las propiedades.

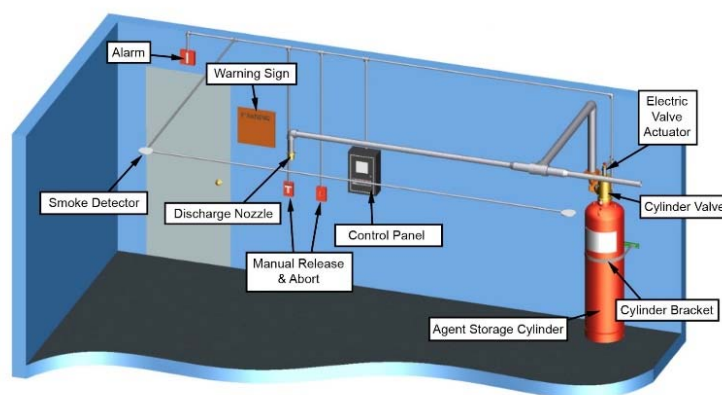


Figura 5.8 Sistemas de Agente Limpio y de Detección y Alarma

5.5. Diseño del Sistema

Dentro del capítulo cinco se tocan los siguientes puntos:

Especificaciones: Las especificaciones sobre sistemas de extinción por inundación total con agentes limpios se deberán elaborar bajo la supervisión de un experto en el diseño de estos sistemas y con el asesoramiento de la autoridad competente.

Dentro de las especificaciones se debe encontrar definido la designación de la autoridad competente, las variaciones de la norma permitidas por esta, los criterios de diseño, la secuencia de funcionamiento del sistema, el tipo y alcance de la prueba de recepción a realizar después de la instalación del sistema.



También, se deberá incluir información y cálculos sobre la cantidad de agente, presión de almacenamiento del recipiente; volumen interno del mismo, ubicación, tipo y velocidad de flujo de cada boquilla incluyendo el área de orificio equivalente; la ubicación, tamaño y longitudes equivalentes de tuberías, accesorios y mangueras; y la ubicación y tamaño de la instalación de almacenamiento.

Se deberán indicar claramente las reducciones en el tamaño de la tubería y la orientación de las “tes”. También deberá aportarse información respecto a la situación y funcionamiento de los dispositivos de detección y accionamiento, equipos auxiliares y circuitos eléctricos, cuando se utilicen.

Planos de trabajo: Los cálculos y planos de trabajo deberán ser entregados para revisión por parte de la autoridad competente, es importante recordar que esta figura puede ser una persona certificada para el diseño de estos sistemas o también podría ser alguna empresa aseguradora. Esta revisión debe llevarse a cabo antes de la instalación del sistema.

Cuando se efectúen estas modificaciones en los planos aprobados, se deberán aportar los planos corregidos según queden instalados. Este es un punto muy importante pues es común revisar planos que no están acorde con lo que se encuentra instalado en campo.

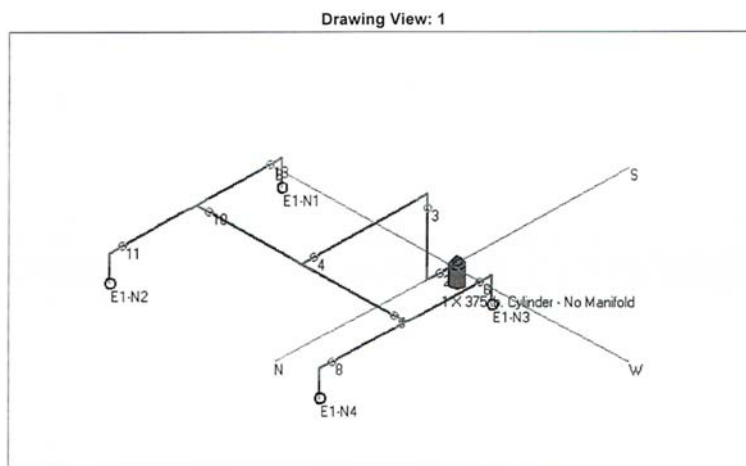


Figura 5.9 Isométrico del sistema de agente limpio

Cálculos de flujo: Los cálculos de flujo, junto con los planos de trabajo, deberán someterse a la aprobación por parte de la autoridad competente. En los cálculos deberá identificarse la versión del software utilizado. Los dos tipos de cálculo de flujo del sistema son los cálculos de gases comprimidos licuados (dos fases) y los cálculos de gases inertes (flujo compresible en una sola fase).

Un método de cálculo listado o aprobado debería predecir la masa de agente descargado por boquilla, la presión media en la boquilla y el tiempo de descarga del sistema.

Recinto: En el diseño de un sistema de inundación total, deberán considerarse las características del recinto protegido. Una construcción adecuada del cuarto garantizará que se mantenga su integridad, así como la concentración de agente extinguidor durante el tiempo requerido.



Figura 5.10 Los orificios dentro de un cuarto protegido pueden disminuir el desempeño del sistema de agente limpio.

Cuando el razonable confinamiento del agente sea impracticable, la protección deberá ampliarse para incluir los riesgos o áreas de trabajo adyacente con los que se comunica o deberá introducirse agente adicional en el recinto protegido utilizando una configuración de descarga amplia.

También, cuando se emplea un sistema de inundación total con un agente limpio para la protección de una sala con falso techo o suelo, la sala y los falsos techo y suelo deberán estar protegidos simultáneamente.

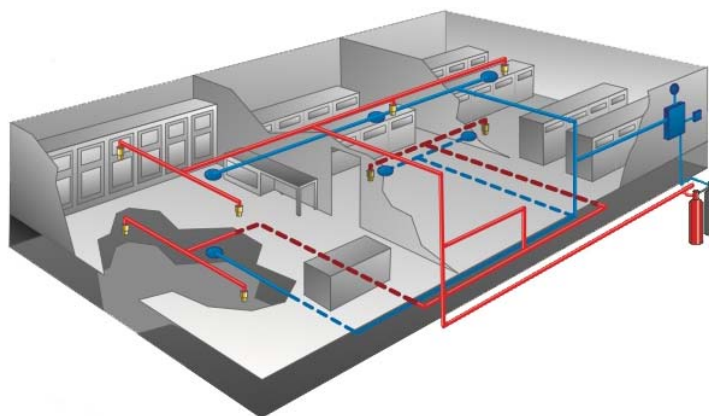


Figura 5.11 Protección mediante agente limpio debajo de piso falso

Concentración de diseño: Para determinar la concentración de diseño de agente para un combustible en particular, deberán utilizarse las concentraciones de inertización o extinción de llama. Para mezclas de combustibles, se deberá utilizar el valor de inertización o extinción de la llama correspondiente al combustible que requiera mayor concentración, a menos que se realicen ensayos con la mezcla real.

- Extinción de la llama: La concentración mínima de diseño para un riesgo de combustible Clase B deberá ser la concentración de extinción determinada por el método de quemador cerrado con un factor de seguridad de 1.35.
- La concentración mínima de diseño para un riesgo de combustible Clase A vendrá determinada por el mayor valor entre:
 - La concentración de extinción, determinada por el método de quemador cerrado con un factor de seguridad de 1.1.
 - Igual que la concentración mínima de extinción para el heptano.



- La concentración mínima de diseño para un riesgo de combustible clase C deberá ser la concentración de extinción determinada por el método de quemador cerrado con un factor de seguridad de 1.35.
- Inertizado: La concentración para inertizar deberá determinarse mediante ensayo. La concentración de diseño mínima utilizada para inertizar la atmosfera de un recinto cerrado donde el peligro es un líquido o gas inflamable, será la concentración de inertización multiplicada por un factor de seguridad de 1.1.
- Cantidad para inundación total: La cantidad de agente halocarbonado requerida para alcanzar la concentración de diseño deberá calcularse con la ecuación No.1, la cual, se muestra a continuación.

Ecuación No.1:

$$W = \frac{V}{s} \left(\frac{C}{100-C} \right)$$

En donde:

W = cantidad de agente limpio [lb (kg)]

V = volumen neto del riesgo, calculado como el volumen total menos el de las estructuras fijas impenetrables para el vapor del agente limpio [ft³ (m³)]

C = concentración de diseño del agente (% vol.)

s = volumen específico del vapor sobrecalentado del agente a 1 atm y a la temperatura mínima prevista [°F (°C)] del volumen protegido [ft³/lb (m³/kg)]



- La concentración de agentes limpios basados en halocarbonados que se obtendrá en el recinto protegido deberá calcularse a las temperaturas de diseño máxima y mínima a partir de la siguiente ecuación (Ecuación No. 2).

Ecuación No. 2:

$$C=100 \frac{\left(\frac{(W)(s)}{(V)}\right)}{\left(\frac{(W)(s)}{(V)}\right)+1}$$

En donde:

C = concentración del agente (% vol.)

W = cantidad de agente instalada [lb (kg)]

s = volumen específico del agente gaseoso a la temperatura de diseño mínimo/máximo del riesgo [ft³/lb (m³/kg)]

V = volumen del recinto construido [ft³ (m³)]

- La cantidad de gas inerte requerida para alcanzar la concentración de diseño se calculará utilizando alguna de las siguientes ecuaciones (Ecuación No. 3 y No.4).

Ecuación No. 3:

$$X=2.303 \left(\frac{s_0}{s}\right) \log_{10} \left(\frac{100}{100-C}\right)$$

En donde:



X = volumen del gas inerte añadido en las condiciones estándar de 14.7 psi absolutas, 70°F (1.013 bar absolutas, 21°C) por volumen del espacio de riesgo [ft³/ft³ (m³/m³)]

s₀ = volumen específico del gas inerte a 70°F (21°C) y 14.7 psi absolutas (1.013 bar absolutas)

s = volumen específico del gas inerte a 14.7 psi absolutas y a la temperatura mínima de diseño [°F (°C)] del volumen protegido [ft³/lb (m³/kg)]

C = concentración de diseño del gas inerte (% vol.)

Ecuación No. 4:

$$X=2.303 \left(\frac{530}{460+t} \right) \log_{10} \left(\frac{100}{100-C} \right)$$

En donde:

t = temperatura mínima anticipada del volumen protegido (°F)

$$X=2.303 \left(\frac{294}{273+t} \right) \log_{10} \left(\frac{100}{100-C} \right)$$

En donde:

t = temperatura mínima anticipada del volumen protegido (°C)

- La cantidad de diseño de agente inerte gaseoso en unidades de masa deberá calcularse con la Ecuación No.5.



Ecuación No.5:

$$W=2.303 \left(\frac{V}{s}\right) \log_{10} \left(\frac{100}{100-C}\right)$$

O

$$W=\left(\frac{V}{s}\right) \ln \left(\frac{100}{100-C}\right)$$

En donde:

W = cantidad de gas inerte [lb (kg)]

V = volumen del riesgo [ft³ (m³)]

s = volumen específico del agente a la temperatura del riesgo [ft³/lb (m³/kg)]

C = concentración de gas inerte (% vol.)

- La concentración de agentes limpios basados en gases inertes que se obtendrá en el recinto protegido deberá calcularse a las temperaturas de diseño máxima y mínima, a partir de la Ecuación No. 6.

$$C=100 \frac{10^{\left(\frac{(W)(s)}{(2.303)(V)}\right)-1}}{10^{\left(\frac{(W)(s)}{(2.303)(V)}\right)}}$$

o bien,

$$C=100 \frac{e^{\left(\frac{(W)(s)}{V}\right)-1}}{e^{\left(\frac{(W)(s)}{V}\right)}}$$

En donde:

C = concentración del agente (% vol.)

W = cantidad de agente instalada [lb (kg)]



s = volumen específico del agente a la temperatura de diseño mínima/máxima del riesgo [ft^3/lb (m^3/kg)]

V = volumen del recinto construido (ft^3 (m^3))

- Factores de diseño: Además de los requisitos de la concentración, son necesarias cantidades adicionales de agente, mediante el empleo de factores de diseño, para compensar cualquier condición especial que pudiera afectar a la eficiencia de la extinción.
- Factor de diseño por “tes”: A excepción de los sistemas que superen un ensayo de descarga, cuando se utilice un único abastecimiento de agente para la protección de varios riesgos, se deberá aplicar alguno de los factores de diseño que se muestra en la tabla 5.13.

Tabla 5.13

Factores de diseño para “tes” en tuberías.

Factor de diseño por número de tes	Halocarbonado Factor de Diseño	Gas Inerte Factor de Diseño
0 – 4	0.00	0.00
5	0.01	0.00
6	0.02	0.00
7	0.03	0.00
8	0.04	0.00
9	0.05	0.01
10	0.06	0.01
11	0.07	0.02
12	0.07	0.02
13	0.08	0.03



Tabla 5.13

Factores de diseño para “tes” en tuberías.

Factor de diseño por número de tes	Halocarbonado Factor de Diseño	Gas Inerte Factor de Diseño
14	0.09	0.03
15	0.09	0.04
16	0.10	0.04
17	0.11	0.05
18	0.11	0.05
19	0.12	0.06

Nota. Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.

- Factores de diseño adicionales: el proyectista deberá asignar y documentar factores de diseño adicionales para cada uno de los siguientes casos:
 1. Aberturas con cierre impracticable y sus efectos sobre la distribución y concentración.
 2. Control de gases ácidos.
 3. Re ignición por superficies calientes.
 4. Tipo de combustible, configuraciones, escenarios no considerados totalmente en la concentración de diseño y geometría del recinto, así como obstrucciones y sus efectos sobre la distribución.
- Factores de diseño por presión en el recinto: La cantidad de diseño de agente limpio deberá ajustarse a fin de compensar las presiones ambientales que varíen más de un 11% [que equivale aproximadamente a un cambio de elevación de 3,000 pies (915 mm)] de las presiones estándar a nivel del mar [29.92 pulgadas Hg a 70°F (760 mmHg a 0°C)]. Ver tabla 5.14



Tabla 5.14

Factores de corrección atmosférica.

Altitud Equivalente		Presión del recinto (absoluta)		Factor de corrección atmosférica
ft	km	psi	mmHg	
-3,000	-0.92	16.25	840	1.11
-2,000	-0.61	15.71	812	1.07
-1,000	-0.30	15.23	787	1.04
0	0.00	14.70	760	1.00
1,000	0.30	14.18	733	0.96
2,000	0.61	13.64	705	0.93
3,000	0.91	13.12	678	0.89
4,000	1.22	12.58	650	0.86
5,000	1.52	12.04	622	0.82
6,000	1.83	11.53	596	0.78
7,000	2.13	11.03	570	0.75

Nota. Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.

- Duración de la protección: Se debe alcanzar una concentración mínima del 85% de la concentración mínima de diseño ajustada al nivel más elevado de contenido protegido dentro del riesgo durante 10 minutos o para un periodo de tiempo que permita la respuesta de personal entrenado.

No solo es importante alcanzar la concentración de diseño mínima del agente, si no también mantenerla durante un determinado tiempo que permita la actuación del personal de emergencia.



5.6. Sistema de Aplicación Local

Este capítulo establece los requisitos que deben cumplir los sistemas de aplicación local. Un sistema de aplicación local deberá consistir en un suministro fijo de agente limpio conectado a un sistema fijo de tuberías con boquillas distribuidas para descargar directamente en el incendio.

Los sistemas de aplicación local deberán utilizarse para la extinción de incendios superficiales de líquidos inflamables y gases e incendios poco profundos de sólidos donde el riesgo no está confinado o el recinto no cumple con los requisitos de inundación total.



Figura 5.12 Aplicación Local

5.7. Inspección, prueba, mantenimiento y formación

En este apartado de la norma NFPA 2001 se establecen los periodos de la inspección, prueba y mantenimiento. De manera general se establece que todos los sistemas de protección contra incendios a base de agentes limpios, deberán ser inspeccionados y probados con una periodicidad mínima anual.



Las inspecciones y pruebas deberán ser llevadas a cabo por personal capacitado y en los ensayos no se requerirá la descarga del agente. Dentro de dicho capítulo se abarcan los siguientes temas:

- Inspección y pruebas.
- Ensayos del recipiente.
- Ensayos de Mangueras.
- Inspección del recinto.
- Mantenimiento.
- Formación.
- Aprobación de las instalaciones.
- Seguridad.

Es necesario recordar que la hermeticidad del cuarto es de suma importancia para la aplicación de los agentes limpios por inundación total, ya que si éste presenta áreas de fuga, el agente extinguidor escapará por dichas áreas poniendo en riesgo la extinción del fuego. Por esto, la norma requiere que se lleve a cabo la *comprobación de la integridad del recinto*. En todos los sistemas de inundación total se deberá examinar y probar el cuarto, a fin de localizar y sellar de forma efectiva cualquier fuga de aire que pudiera impedir el mantener la concentración del agente durante el tiempo necesario. Actualmente, el método preferido consiste en utilizar un ventilador en la puerta del recinto (*Door Fan Test*).



Figura 5.13 Equipo para realizar la prueba *Door Fan Test*

5.8. Sistemas Marítimos

En este apartado de la norma se describen las supresiones, modificaciones y ampliaciones necesarias para las aplicaciones marinas. Para estos sistemas se debe cumplir con lo establecido en los capítulos del 1 al 7, a excepción de que algún requisito sea modificado en esta sección. Cuando los requisitos del capítulo 8 se contrapongan con los del 1 al 7, las disposiciones del 8 deberán prevalecer.

El capítulo 8 se limita a las aplicaciones marinas de los sistemas de extinción de incendios con agentes limpios en embarcaciones comerciales y gubernamentales. Durante el desarrollo de la sección no se consideraron los sistemas de inertización para explosiones.



5.9. Anexo A. Aclaraciones

El anexo A no forma parte de los requisitos de la norma NFPA 2001, si no que se incluye, únicamente, a título informativo. El anexo contiene explicaciones aclaratorias con la misma numeración que el apartado al que corresponden.

5.10. Anexo B. Método del quemador de vaso para determinar la concentración mínima de extinción de llama para un agente gaseoso

Tal y como su nombre lo indica, en este anexo se explica el método del quemador de vaso, el cual se utiliza para conocer la concentración mínima de extinción de un agente extinguidor.

Los sistemas de extinción de incendios por inundación total son ampliamente usados cuando se procesan o almacenan materiales inflamables, incluyendo líquidos y gases. El agente extinguidor utilizado en tales sistemas puede ser un gas o un líquido debidamente almacenado. Cuando se libera a la atmósfera del espacio protegido el agente se dispersa, y se evapora si inicialmente es un líquido, para formar una mezcla con el aire. Se produce una exitosa extinción cuando la concentración del agente excede con un margen suficiente la concentración mínima de extinción (MEC), causando una rápida supresión de la llama. El uso de cantidades excesiva de agente puede no ser deseable debido al costo total del sistema o, a menudo más importante, debido a la necesidad de evitar crear una atmósfera aire-agente que sea dañina para las personas.

En el caso de riesgos relacionados con líquidos inflamables, la concentración de diseño mínima (MDC) de un agente gaseoso se especifica en los estándares nacionales e internacionales como un factor de seguridad múltiplo del MEC. Este método de ensayo emplea el quemador de vaso para determinar, a un combustible



dato, el MEC de un agente gaseoso. El método del quemador de vaso es eminentemente empírico. Los aspectos teóricos y paramétricos de la extinción de llama en este procedimiento han sido estudiados por muchos autores.

5.11. Anexo C. Procedimiento de integridad del recinto

En el anexo C se encuentra el procedimiento para llevar a cabo la prueba de integridad del cuarto o recinto. Ese procedimiento supone un método para comparar las fugas en un recinto, según el ensayo del ventilador en el acceso del cuarto (puerta), con las fugas producidas en el peor de los casos. El método de cálculo proporcionado hace posible predecir el tiempo que tardará una superficie de separación descendente en caer hasta una determinada altura, o para los casos de mezcla continua, el tiempo que la concentración tardará en descender hasta un determinado porcentaje.

Con la prueba de la integridad del recinto no se pretende verificar otros aspectos de la fiabilidad del sistema de agente limpio, es decir, el funcionamiento del hardware, la mezcla de agente, los cálculos hidráulicos y la integridad de la tubería.

Ese procedimiento se limita a la tecnología que emplea un ventilador en el acceso del cuarto. Con él no se pretende excluir otras tecnologías alternativas, como la de sensores acústicos.

Los apartados que se encuentran en el anexo se mencionan a continuación:



Fundamentos del Procedimiento

- Alcance.
- Limitaciones e hipótesis.
- Definiciones

Procedimiento de Ensayo

- Operaciones preliminares.
- Equipo necesario.
- Comprobación de calibrado en campo.
- Evaluación inicial del recinto.
- Instalación del ventilador de puerta.
- Evaluación del recinto con el ventilador de puerta.
- Medición con el ventilador de puerta.
- Cálculo de retención.
- Control de fugas.
- Informe del ensayo

5.12. Anexo D. Evaluación del Recinto

En este anexo se analiza el efecto que tienen los agentes limpios cuando se descargan en el cuarto al que protegen. La descarga de un sistema de inundación total mediante un agente limpio en un recinto protegido crea fluctuaciones internas. Normalmente, para agentes halocarbonados, el cuarto tendrá suficiente área de venteo y resistencia mecánica para moderar y resistir los cambios de presión de modo que no se produzcan daños. Sin embargo, en algunas circunstancias, el recinto podría resultar dañado por los cambios momentáneos de presión.



Se pueden generar daños por presión si el área de venteo por fugas normales en el cuartos es insuficiente. Por otro lado, pueden producirse daños en el recinto debido a una construcción débil por deficiencias en la construcción o el diseño.



Figura 5.14 Ventila de relevo de presión

5.13. Anexo E. Referencias informativas

En este anexo se encuentran las referencias bibliográficas que se citan en el Anexo A. Los documentos que aquí se muestran no forman parte de los requisitos de la NFPA 2001, a menos de que aparezcan en el Capítulo 2. Publicaciones de Referencia.



CAPÍTULO VI. EJEMPLO PARA EL CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE AGENTE LIMPIO PARA LA PROTECCIÓN POR INUNDACIÓN TOTAL

En este capítulo se muestra el procedimiento recomendado para determinar la cantidad de agente limpio necesario para la protección contra incendios de un cuarto de control. Las ecuaciones así como los valores utilizados en los cálculos fueron tomados de la norma NFPA 2001 edición 2015.

Para llevar a cabo el cálculo, se considera lo siguiente:

- Agente Limpio: HFC-125 (Pentafluoroetano).
- Área Neta del Cuarto de Control: 16 m².
- Altura del Cuarto de Control: 3 m.
- Volumen del cuarto: 48 m³ (1,695 ft³).
- El cuarto de control se ubica en la CDMX, México, por lo que su altitud es de: 2,250 m.
- Temperatura promedio del cuarto: 21°C.
- Temperatura mínima medida dentro del cuarto: 15°C.
- Temperatura máxima dentro del cuarto: 26°C

1. Primero se determina la concentración de diseño del HFC-125, para ello se consulta la tabla 6.1



Tabla 6.1

Concentraciones de extinción en el quemador de vaso para n-heptano.

Agente	Valor en el quemador de vaso
FIC-13I1*	3.2
FK-5-1-12	4.5
HCFC Mezcla A	9.9
HCFC-124	6.6
HFC-125	8.7
HFC-227ea	6.7
HFC-23	12.9
HFC-236fa	6.4
IG-01	42
IG-100*	31
IG-541	31
IG-55	35
HFC Mezcla B	11.3

Notas:

Concentración de extinción con quemador de vaso de 6.7% para HCF-277ea con heptano comercial como combustible.

* No deriva del método normalizado del quemador de vaso.

Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.

De la tabla anterior, la concentración de diseño del HFC-125 es de 8.7%. Para este cálculo utilizaremos una concentración del 9%.

- Ahora se calcula la cantidad de agente que se requiere para alcanzar la concentración de diseño. La ecuación que se utiliza para este cálculo se muestra continuación:



$$W = \frac{V}{s} \left(\frac{C}{100-C} \right)$$

En donde:

W = cantidad de agente limpio [lb (kg)]

V = volumen neto del riesgo, calculado como el volumen total menos el de las estructuras fijas impenetrables para el vapor del agente limpio [ft³ (m³)]

C = concentración de diseño del agente (% vol.)

s = volumen específico del vapor sobrecalentado del agente a 1 atm y a la temperatura mínima prevista [°F (°C)] del volumen protegido [ft³/lb (m³/kg)]

De acuerdo a la información contenida en la tabla 6.2 (ver anexo A) para una temperatura de 70°F (21°C) y una concentración de HFC-125 del 9% el valor de s es de 3.1712 (ft³/lb). Sustituyendo los valores en la ecuación, tenemos que la cantidad de HFC-125 necesaria para la protección es de:

$$W = \frac{(1,695 \text{ ft}^3)}{\left(3.1712 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}\right)} \left(\frac{9}{100-9}\right)$$

$$W = (534.5 \text{ lb})(0.099)$$

$$\mathbf{W = 52.92 \text{ lb de HFC-125}}$$

3. Factor de corrección atmosférica.

De acuerdo a la información, el cuarto de control se ubica a 2,250 metros sobre el nivel del mar (7,382 ft), por lo que la cantidad de agente obtenida debe ser multiplicada por el factor de 0.75 (ver tabla 6.3).



Tabla 6.3

Factores de corrección atmosférica.

Altitud Equivalente		Presión del recinto (absoluta)		Factor de corrección atmosférica
ft	km	psi	mmHg	
-3,000	-0.92	16.25	840	1.11
-2,000	-0.61	15.71	812	1.07
-1,000	-0.30	15.23	787	1.04
0	0.00	14.70	760	1.00
1,000	0.30	14.18	733	0.96
2,000	0.61	13.64	705	0.93
3,000	0.91	13.12	678	0.89
4,000	1.22	12.58	650	0.86
5,000	1.52	12.04	622	0.82
6,000	1.83	11.53	596	0.78
7,000	2.13	11.03	570	0.75

Nota. Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.

Por lo anterior, la cantidad de agente necesaria para este cuarto es de:

$$W=(52.92 \text{ lb de HFC-125})(0.75)$$

$$W \cong 40 \text{ lb de HFC-125}$$

4. El siguiente paso es calcular la concentración de agente que se obtendrá en el recinto protegido a las temperaturas de diseño máxima y mínima. Para dicho cálculo se utilizara la siguiente ecuación:

$$C=100 \frac{\left(\frac{W(s)}{V}\right)}{\left(\frac{W(s)}{V}\right)+1}$$



En donde:

C = concentración del agente (% vol.)

W = cantidad de agente instalada [lb (kg)]

s = volumen específico del agente gaseoso a la temperatura de diseño mínimo/máximo del riesgo [ft³/lb (m³/kg)]

V = volumen del recinto construido [ft³ (m³)]

Concentración mínima.

Nuevamente, de acuerdo a la tabla 6.2 (ver anexo A) a una temperatura de 60°F (15°C) el valor de s es de 3.1077 ft³/lb. Por lo tanto el valor que resulta al multiplicar W por s es de 124.31 ft³.

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior se tiene que la concentración de HFC-125 a una temperatura de 15°C (60°F) es de:

$$C=100 \frac{\left(\frac{(124.31 \text{ ft}^3)}{(1,695 \text{ ft}^3)}\right)}{\left(\frac{(124.31 \text{ ft}^3)}{1,695 \text{ ft}^3}\right) + 1}$$

$$C=100 \left(\frac{0.07334}{1.07334}\right)$$

$$\mathbf{C = 6.83\%}$$

Concentración máxima.

A la temperatura máxima que es de 26°C (80°F) el valor de s corresponde a 3.2344 ft³/lb. El valor que resulta de multiplicar W por s es 129.38 ft³.



Al sustituir los valores en la ecuación para calcular la concentración, se tiene que a 80°F la concentración de HFC-125 es de:

$$C=100 \frac{\left(\frac{(129.38 \text{ ft}^3)}{(1,695 \text{ ft}^3)}\right)}{\left(\frac{(129.38 \text{ ft}^3)}{1,695 \text{ ft}^3}\right)+1}$$

$$C=100 \left(\frac{0.07633}{1.07633}\right)$$

$$\mathbf{C = 7.09\%}$$



CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES

Después de haber realizado este trabajo llegué a las siguientes conclusiones:

De los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se concluye que dentro del cuarto protegido se alcanzará la concentración de diseño (9%) de HFC-125 para la extinción de un incendio aun cuando la temperatura dentro del cuarto se encuentre dentro del rango de 21°C a 26°C.

La información contenida en la norma NFPA 2001 (tablas y ecuaciones) resulta de gran ayuda para calcular la cantidad de agente limpio que se requiere para la protección contra incendios cuando no se tiene un software especializado.

Para poder calcular la cantidad de agente limpio necesario para la protección contra incendios mediante la inundación total de un cuarto utilizando como referencia la norma NFPA 2001 es necesario contar con la siguiente información: agente limpio, volumen del cuarto (incluyendo el volumen debajo del falso piso, en caso de existir), la altura sobre el nivel del lugar donde se ubica el cuarto y las temperaturas promedio, mínima y máxima que se espera tener dentro del cuarto.

La norma NFPA 2001 no contiene ecuaciones ni metodologías de cálculo, a través de la cuales se puedan llevar a cabo los cálculos de flujo y el dimensionamiento de la tubería. En este caso sí se requiere de un software adecuado, el cual, es proporcionado por el proveedor del sistema.

Cuando los equipos que conforman a un cuarto de control están instalados físicamente en otro lugar (cuarto de control de motores, cuarto de servidores, cuarto de UPS) resulta más importante proteger esos lugares que el mismo cuarto de control.



En el diseño del sistema de agente limpio se deben considerar aquellas áreas por donde pasa el cableado eléctrico (piso y techo falso).

En los lugares que no están normalmente ocupados o que físicamente no son visibles se debe instalar un sistema de detección y alarma del tipo muestreo o aspiración temprana.

Se debe realizar un análisis de costo-beneficio cuando se pretenda instalar un sistema de protección contra incendios en un cuarto de control. Sí, los daños ocasionados por un incendio (incluyendo el valor de los equipos electrónicos) resultan más altos que la instalación de un sistema de agente limpio, entonces dicho sistema deberá instalarse, de lo contrario, un sistema de rociadores resulta una solución más adecuada para la protección.

La ventaja de los agentes limpios para la protección contra incendios radica en que estos no son conductores de la electricidad y tras su aplicación no deja residuos, por lo que los equipos electrónicos no corren el riesgo de quedar inservibles.

Cuando se diseña un sistema de agente limpio por inundación total, se debe tener en cuenta si el cuarto estará normalmente ocupado. Con base a esto, se deberán seleccionar las concentraciones de diseño.

Se deben realizar las pruebas de hermeticidad al cuarto que se pretende proteger (door fan test) para asegurar que en una descarga, el agente se mantendrá el tiempo requerido por la norma NFPA 2001 (10 minutos), en caso de que esto no se cumpla, deberán buscarse las áreas dentro del cuarto por donde se escapa el agente extinguidor y deberán sellarse con materiales resistentes al fuego. Si no se tiene especial atención en la integridad del cuarto, la cantidad calculada de agente limpio será insuficiente y el incendio no se extinguirá.



Los lugares por donde el agente limpio puede escapar son las partes bajas del cuarto, esto, porque la densidad del agente limpio es mayor que la del aire.

Cuando el diseño de un sistema de agente limpio ha sido aprobado para su instalación, es importante que el instalador y/o diseñador entreguen al usuario final los documentos (planos y cálculos) de construcción (as built). Es imprescindible recordar que cualquier modificación física del cuarto podría hacer que la cantidad calculada de agente y la distribución de las boquillas no resulten eficientes.

La inspección, prueba y mantenimiento adecuado del sistema disminuirá la probabilidad de que el sistema falle cuando sea requerido. Estas actividades deben ser llevadas por personas calificadas para este fin.



REFERENCIA

1. Anaya Durand, A, Barragán Acevedo, R, & Vergara Vega, A. (2013). Manual de Temas Selectos de Ingeniería de Proyectos. (1ra ed.) México: Facultad de Química.
2. Battin-LeClerc, F., et al. (1995). The Chemical Inhibiting Effect of Some Fluorocarbons and Hydrofluorocarbons Proposed as Substitutes For Halons. Halon Replacements: Technology and Science, Miziolek and Tsang, American Chemical Society 1995.
3. Baum R. (2017). Chlorofluorocarbons and Ozone Depletion. University of California, Irvine. American Chemical Society.
4. Burgess, D., et al. (1994). Kinetics of Fluorine-Inhabited Hydrocarbon Flames. Proceedings, Halon Options Technical Working Conference 1994, Albuquerque, NM.
5. Clarke, P. (2000) Protecting on-site personnel control room location-dead-centre?. Allianz Cornhill International Division. SYMPOSIUM No. 147 © IChemE.
6. Hearfield, F. (1970). Design for Safety – Fire and the Modern Large-scale Chemical Plant (Course). Dep. of Chem. Engng, Teesside Polytechnic, Middlesbrough.
7. Hewitt, C.N. & Jackson, A.V. (2003). Handbook of Atmospheric Science: Principles and Applications. (1ra ed.) UK: Blackwell Publishing.



8. Houghton, K. (2006). Control Room Fire Protection: When Seconds Count. Fire Protection and Design.
9. Lees Frank P. (2005). Lees'Loss Prevention in the Process Industries Volumen 1. (4th ed.) Great Britain: Butterworth-Heinemann.
10. Moore, D.W. (1986). Halogenated agents and systems. In Cote, A.E. and Linville, J.L. (1986).
11. Naciones Unidas. Día Internacional de la Preservación de la Capa de Ozono, 16 de septiembre. Organización de las Naciones Unidas. Recuperado de <http://www.un.org/es/events/ozoneday/background.shtml>. Visitado por última vez el 08/04/2018.
12. National Fire Protection Association. (Marzo de 2009). Manual de Protección contra Incendios. Volumen II. (5ta ed.). Colombia: NFPA.
13. National Fire Protection Association. (2015). NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems.
14. Richter, H., et al. (1995). Flame Inhibition of Current Fire Extinguishers and of Potencial Substitutes, Halons. Halon Replacements: Technology and Science, Miziolek and Tsang, American Chemical Society 1995.



ANEXO A

Tabla 6.2

HFC-125 Cantidad para inundación total (unidades U.S).

Temp. (t) (°F) ^c	Volumen específico de vapor (s) (ft ³ /lb) ^d	Requisitos en peso del volumen de riesgo, W/V (lb/ft ³) ^b						
		Concentración de diseño (% en volumen) ^e						
		7	8	9	10	11	12	13
-50	2.3902	0.0315	0.0364	0.0414	0.0465	0.0517	0.0571	0.0625
-40	2.4577	0.0306	0.0354	0.0402	0.0452	0.0503	0.0555	0.0608
-30	2.5246	0.0298	0.0344	0.0392	0.0440	0.0490	0.0540	0.0592
-20	2.5909	0.0291	0.0336	0.0382	0.0429	0.0477	0.0526	0.0577
-10	2.6568	0.0283	0.0327	0.0372	0.0418	0.0465	0.0513	0.0562
0	2.7222	0.0276	0.0319	0.0363	0.0408	0.0454	0.0501	0.0549
10	2.7872	0.0270	0.0312	0.0355	0.0399	0.0444	0.0480	0.0536
20	2.8518	0.0264	0.0305	0.0347	0.0390	0.0434	0.0478	0.0524
30	2.9162	0.0258	0.0298	0.0339	0.0381	0.0424	0.0468	0.0512
40	2.9803	0.0253	0.0292	0.0332	0.0373	0.0415	0.0458	0.0501
50	3.0441	0.0247	0.0286	0.0325	0.0365	0.0406	0.0448	0.0491
60	3.1077	0.0242	0.0280	0.0318	0.0358	0.0398	0.0439	0.0481
70	3.1712	0.0237	0.0274	0.0312	0.0350	0.0390	0.0430	0.0471
80	3.2344	0.0233	0.0269	0.0306	0.0344	0.0382	0.0422	0.0462
90	3.2975	0.0228	0.0264	0.0300	0.0337	0.0375	0.0414	0.0453
100	3.3605	0.0224	0.0259	0.0294	0.0331	0.0368	0.0406	0.0445
110	3.4233	0.0220	0.0254	0.0289	0.0325	0.0361	0.0398	0.0436
120	3.4859	0.0216	0.0249	0.0284	0.0319	0.0355	0.0391	0.0429
130	5.5485	0.0212	0.0245	0.0279	0.0313	0.0348	0.0384	0.0421
140	3.6110	0.0208	0.0241	0.0274	0.0308	0.0342	0.0378	0.0414
150	3.6734	0.0205	0.0237	0.0269	0.0302	0.0337	0.0371	0.0407
160	3.7357	0.0201	0.0233	0.0265	0.0297	0.0331	0.0365	0.0400
170	3.7979	0.0198	0.0229	0.0260	0.0293	0.0326	0.0359	0.0393



Tabla 6.2

HFC-125 Cantidad para inundación total (unidades U.S).

Temp. (t) (°F) ^c	Volumen específico de vapor (s) (ft ³ /lb) ^d	Requisitos en peso del volumen de riesgo, W/V (lb/ft ³) ^b						
		Concentración de diseño (% en volumen) ^e						
		7	8	9	10	11	12	13
180	3.8600	0.0195	0.0225	0.0256	0.0288	0.0320	0.0353	0.0387
190	3.9221	0.0192	0.0222	0.0252	0.0283	0.0315	0.0348	0.0381
200	3.9841	0.0189	0.0218	0.0248	0.0279	0.0310	0.0342	0.0375

Notas:

^aLas especificaciones del fabricante contienen el rango de temperatura de funcionamiento.

^bW/V [requisitos en peso del agente (lb/ft³)] = libras de agente necesarias por pie cúbico de volumen protegido para conseguir la concentración indicada a la temperatura dada.

$$W = \frac{V}{s} \left(\frac{C}{100-C} \right)$$

^ct [temperatura (°F)] = temperatura de diseño en el área de riesgo.

^ds [volumen específico (ft³/lb)] = volumen específico del vapor de HFC-125 sobrecalentado que, aproximadamente, puede calcularse según la fórmula: $s = 2.7208 + 0.00064t$.

^eC [concentración (%)] = concentración volumétrica de HFC-125 en aire a la temperatura indicada.

Fuente: NFPA 2001 (2015)¹³.