

**Dispositivos de agua nebulizada en sistemas de red contra incendio**

**Luis Octavio Acero Luppi**

**Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Recursos Hidráulicos y  
Medioambiente**

**Director**

**Alfonso Rodríguez Díaz**

**Escuela Colombiana de Ingeniería**

**Especialización en Recursos Hidráulicos y Medioambiente**

**Bogotá**

**2019**

NOTA DE ACEPTACIÓN:

El proyecto final titulado “**Dispositivos de agua nebulizada en sistemas de red contra incendio**”, presentado por el Ing. Luis Octavio Acero Luppi, en cumplimiento del requisito para optar al título de Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente, fue aprobado por el Director del proyecto.

**Ing. Héctor Alfonso Rodríguez Díaz**

**Director del Proyecto**

**Bogotá D.C., AGOSTO de 2019**

## Tabla de contenido

	Pág.
1. Objetivos	9
8.1 General	9
8.2 Específicos	9
2. Antecedentes	10
3. Marco de referencia	12
3.1 Concepto de combustión	12
3.2 Agua nebulizada	14
3.2.1 Forma como actúa el agua nebulizada contra los agentes que generan la combustión	15
3.3 Norma NFPA 750	16
3.4 Norma ET CEN 14972	19
4. Principales parámetros de diseño e instalación de sistemas que utilizan agua nebulizada según NFPA 750	20
4.1 Generalidades de la NFPA 750	20
4.1.1 NFPA 750 - Capítulo 3. Definiciones	20
4.1.2 NFPA 750 - Capítulo 5. Clasificación de las ocupaciones	24
4.1.3 NFPA 750 - Capítulo 6. Componentes del sistema	25
4.1.4 NFPA 750 Capítulo 7. Requisitos del sistema	31
4.1.5 NFPA 750 Capítulo 8. Requisitos de instalación	34
4.1.6 NFPA 750 Capítulo 11. Cálculos	38
5. Tecnologías con agua nebulizada	43
5.1 Tipología de las redes de agua nebulizada, Tecnología HI-FOG	43
5.1.1 Criterios de riesgos según las autoridades europeas ET CEN 14972 y norteamericanas (NFPA)	43
5.1.2 Aprobaciones de las tecnologías HI-FOG, según los riesgos de las autoridades	45
5.1.2.1 Sistema MAU (Unidades acumulador para espacio de maquinaria)	46
5.1.2.2 Sistema GPU (Unidad de bomba a gas)	46
5.1.2.3 Sistema MSPU (Unidades modulares de bombas para splinkers)	46
5.2 Sistema MAU (Unidades acumulador para espacio de maquinaria)	47

5.2.1 Generalidades del sistema	47
5.2.2 Operación del sistema	48
5.2.3 Unidad de cilindro de agua y gas	48
5.2.4 Rociadores para la descarga de agua nebulizada	49
5.2.5 Tubería de acero inoxidable	50
5.2.6 Parámetros de instalación y dimensión	50
5.2.6.1 Criterios de instalación	50
5.2.6.2 Dimensionamiento de la red	53
5.2.6.3 Suministro de agua y filtración del sistema	55
5.3 Sistema GPU (Unidad de bomba a gas)	57
5.3.1 Generalidades del sistema	57
5.3.2 Operación del sistema	57
5.3.3 Unidad de bombeo general	58
5.3.4 Rociadores para la descarga de agua nebulizada	59
5.3.5 Tubería de acero inoxidable	60
5.3.6 Selección de válvulas	61
5.3.7 Parámetros de instalación y dimensionamiento	62
5.3.8 Cálculos hidráulicos	62
5.3.9 Calculo de la cantidad de cilindros	63
5.3.10 Suministro de agua y filtración del sistema	64
5.4 Sistema MSPU (Unidades de bombas modulares para rociadores)	66
5.4.1 Generalidades del sistema	66
5.4.2 Operación del sistema	67
5.4.3 Unidad de bombeo general	68
5.4.4 Rociadores para la descarga de agua nebulizada	68
5.4.5 Tubería de acero inoxidable	69
5.4.6 Selección de válvulas	70
5.4.7 Parámetros de instalación y dimensionamiento	71
5.4.8 Cálculos hidráulicos	72
5.4.8.1 Condiciones de cálculo para riesgo leve (HC-1)	72
5.4.8.2 Condiciones de cálculo riesgo ordinario 1 (OH-1)	73

5.4.9 Suministro de agua y filtración del sistema	73
6. Parámetros generales para el diseño de tecnologías HI-FOG	75
6.1 Sistema MAU	75
6.2 Sistema GPU	78
6.3 Consideraciones para el diseño hidráulico	80
7. Agua nebulizada vs. Sistemas de rociadores convencionales	81
8. Conclusiones y recomendaciones	82
Bibliografía	84

**Lista de tablas**

	Pág.
Tabla 1. Definiciones oficiales NFPA, numeral 3.2	21
Tabla 2. Definiciones generales NFPA, numeral 3.3	21
Tabla 3. Sistemas de agua nebulizada NFPA, numeral 3.3.24	22
Tabla 4. Clasificación de las ocupaciones según NFPA 750	24
Tabla 5. Contenedores de gas y tanques de almacenamiento NFPA 750	25
Tabla 6. Tuberías y tubos	26
Tabla 7. Tabla 6.3.3.1 Normas sobre tuberías o tubos NFPA 750	26
Tabla 8. Accesorios NFPA 750	27
Tabla 9. Soportes colgantes y otros colgantes NFPA 750	27
Tabla 10. Boquillas o rociadores de agua nebulizada NFPA 750	28
Tabla 11. Tabla 6.6.7.1 NFPA Certificaciones de temperatura, clasificaciones y codificación por color de boquillas individuales, de activación térmica	29
Tabla 12. Válvulas NFPA 750	29
Tabla 13. Tamices y filtros NFPA 750	29
Tabla 14. Bombas y sistemas de bombeo NFPA 750	30
Tabla 15. Detección, activación y alarmas (monitoreo) NFPA 750	30
Tabla 16. Requisitos del sistema	31
Tabla 17. Requisitos de instalación	34
Tabla 18. Tabla 8.3.4.2 Espaciamiento máximo de los soportes colgantes de tubos	37
Tabla 19. Cálculos	38
Tabla 20. Tabla 11.2.1 Ecuaciones de Darcy–Weisbach y asociadas para la pérdida de presión en sistemas de presión intermedia y alta	41
Tabla 21. Tabla 11.2.2(a) Valores recomendados de rugosidad absoluta o altura efectiva de las irregularidades de las paredes de las tuberías, para uso en la ecuación de Darcy–Weisbach	42
Tabla 22. Tabla 11.2.2(b) Valores aproximados de $\mu$ , viscosidad absoluta (dinámica) y para agua limpia, en el rango de temperatura de 4.4 a 37.8 °C (40 a 100 °F)	42
Tabla 23. Configuraciones estándar de los cilindros de agua / Gas sistema MAU	48
Tabla 24. Cabezal de pulverización HI-FOG	49

Tabla 25. Tamaños y espesor de tubería estándar en los sistemas HI-FOG	50
Tabla 26. Dimensionamiento de la red	53
Tabla 27. Especificaciones de las boquillas con rociadores automáticos, sistema GPU	59
Tabla 28. Tamaños de tuberías estándar utilizados en los sistemas HI-FOG	61
Tabla 29. Especificaciones y criterios de instalación en sistemas HI-FOG	62
Tabla 30. Número de cilindros para diferentes tipos de boquillas automáticas	64
Tabla 31. Boquillas de rociadores para riesgos leves (HC-1), sistema MSPU	69
Tabla 32. Boquillas de rociadores para riesgos ordinarios 1 (OH-1), sistema MSPU	69
Tabla 33. Tamaños de tubería estándar utilizados en los sistemas HI-FOG - MSPU	69
Tabla 34. Riesgo leve (HC-1), aprobado por FM, sistema MSPU	71
Tabla 35. Riesgo ordinario 1 (OH-1) aprobado por UL, sistema MSPU	71
Tabla 36. Tipo de rociadores según temperatura	72
Tabla 37. Cantidad de rociadores de acuerdo con el volumen del recinto, sistema MAU	75
Tabla 38. Propiedades de los rociadores de acuerdo con la altura de entre pisos de la edificación	79
Tabla 39. Tamaños de tubería estándar utilizados en los sistemas GPU	79

**Lista de figuras**

	Pág.
Figura 1. Triángulo del fuego	13
Figura 2. Tamaño de gotas del sistema de control y extinción del fuego por agua nebulizada	14
Figura 3. Distribución del tamaño de una gota de agua nebulizada, según NFPA 750	15
Figura 4. Acción del agua nebulizada sobre el fuego	16
Figura 5. Figura 11.2.2 Diagrama de Moody	41
Figura 6. Tipos de aprobaciones para la tecnología HI-FOG, según el riesgo expuesto	45
Figura 7. Ficha técnica del Spray Head Type 4S 1MC 8MC 1000	49
Figura 8. Espacios entre maquinaria desde las paredes de rociadores en un sistema de distribución de agua nebulizada HI-FOG (MAU)	51
Figura 9. Espacios entre maquinaria desde el techo de rociadores en un sistema de distribución de agua nebulizada HI-FOG (MAU)	52
Figura 10. Espacios de maquinaria de peligro especial en un sistema de distribución de agua nebulizada HI-FOG (MAU)	52
Figura 11. App 03 – MAU 100 Single Shot – Single Hazard (Turbine)	54
Figura 12. App 04 – MAU 150 Single Shot – Single Hazard (Turbine)	55
Figura 13. Ficha técnica del Sprinkler Type 1N 1MC 6MC 10RA	60
Figura 14. App 01 – Schematic Layout of an Installation	66
Figura 15. Instalación de rociadores de un sistema MAU	76
Figura 16. Ubicación desde el techo de rociadores de un sistema MAU	77
Figura 17. Instalación del rociador adicional en la puerta de servicio en un sistema MAU	77

## **1. Objetivos**

### **8.1 General**

Estudiar y analizar los sistemas de protección contra incendio que utilizan la tecnología de agua nebulizada en edificaciones.

### **8.2 Específicos**

Estudiar los principios básicos del sistema de agua nebulizada.

Presentar las normas que se emplean en el diseño de sistemas que utilizan agua nebulizada como dispositivos de extinción.

Presentar las características y parámetros de diseño de un dispositivo de agua nebulizada según la norma.

Presentar los diferentes tipos de boquillas y tuberías que se utilizan para el sistema de agua nebulizada HI-FOG.

Hacer recomendaciones sobre el uso de estos dispositivos.

## 2. Antecedentes

De acuerdo con la empresa Sprinkpoint (2018), los rociadores automáticos o sprinklers son “uno de los sistemas más antiguos para la protección contra incendios en todo tipo de edificios. Están concebidos para detectar un conato de incendio y apagarlo con agua o controlarlo para que se pueda apagar por otros medios”. Estos rociadores se diseñaron para proteger totalmente los inmuebles de diversos tipos; sin embargo, existen excepciones para su uso, como en las edificaciones en las que no se recomienda usar agua como agente extintor, por lo que se deben emplear otros sistemas más adecuados (Soler Fire & Security Systems, 2014).

En este sentido, algunas circunstancias como la afectación de algunos agentes al medio ambiente generaron que se prestará más atención a los componentes usados en este tipo de sistema, como se evidenció en 1987 con el protocolo de Montreal, cuyo objetivo fue prohibir la fabricación de carbofluorados CFC, debido a que dañaba la capa de ozono. Así mismo, debido al gran accidente en las escaleras del metro de Londres, este mismo año también se empezó a reflexionar sobre el desarrollo de nuevos sistemas de extinción, razón por la cual en 1990 la Organización Marítima Internacional (IMO) impulsó programas de pruebas con el sistema de agua nebulizada en buques, con el objetivo de eliminar el Halon 1301 y evitar el uso del CO<sub>2</sub> por el peligro que representaba para las personas. Finalmente, en 1996 se publicó la primera norma NFPA 750 sobre sistemas de agua nebulizada, la cual permitió tener no sólo un documento de referencia sobre los diversos tipos de sistemas contra incendio sino una guía con orientaciones sobre los equipos e instalaciones más adecuados, según el tipo de edificación y el nivel de riesgo (Asociación de profesionales de ingeniería de protección contra incendios, 2010).

Ahora bien, según los Ingenieros Mecánicos Asociados, INMA (s.f.), al momento de elegir un sistema contra incendios para edificaciones se deben tener en cuenta varios parámetros, adicionales a la alternativa más adecuada entre las múltiples posibilidades que existen. En este sentido, el agua nebulizada es una de las mejores opciones, pues se trata de un agente que brinda varias ventajas, al ser “una solución basada en partículas muy pequeñas de agua cuyo tamaño debe ser menor a 1000 micras. Estas pequeñas gotas o partículas se consiguen mediante la utilización de unas boquillas especialmente diseñadas y con presiones de trabajo que alcanzan

desde los 4 hasta los 200 bares” (Gesab, s.f.). Además, esta es una solución ideal para ambientes críticos en los cuales el uso de agua normal puede generar daños en equipos o instalaciones, pues “cuando el sistema entra en acción, el agua nebulizada enfría el fuego y desplaza el oxígeno gracias al vapor generado al mismo tiempo que se atenúa el calor radiante” (Gesab, s.f.).

### 3. Marco de referencia

#### 3.1 Concepto de combustión

La combustión es la reacción que se produce entre un material oxidable y el oxígeno, que se manifiesta a través de las llamas y genera la liberación de energía. Según Pérez & Merino (2016):

La combustión implica la oxidación de un elemento mediante un proceso que se hace visible por el fuego y que incluye el desprendimiento de energía a modo de luz y calor. Para el desarrollo de esta reacción química se necesita una sustancia capaz de arder (que recibe el nombre de combustible) y una sustancia que genere la combustión (el comburente). Por lo general el comburente es el oxígeno. La reacción hace que los componentes del combustible se oxiden.

De esta manera, un combustible debe alcanzar la temperatura de ignición haciendo que los vapores ardan espontáneamente, para que de este modo se dé paso a la combustión. Es importante tener en cuenta que “la energía química liberada durante la combustión puede ser aprovechada como energía mecánica, por ejemplo, en el funcionamiento de los automóviles, cuyos motores se valen de la combustión de la gasolina (nafta) o de otro combustible para obtener la energía que posibilita el movimiento del vehículo” (Pérez & Merino, 2016).

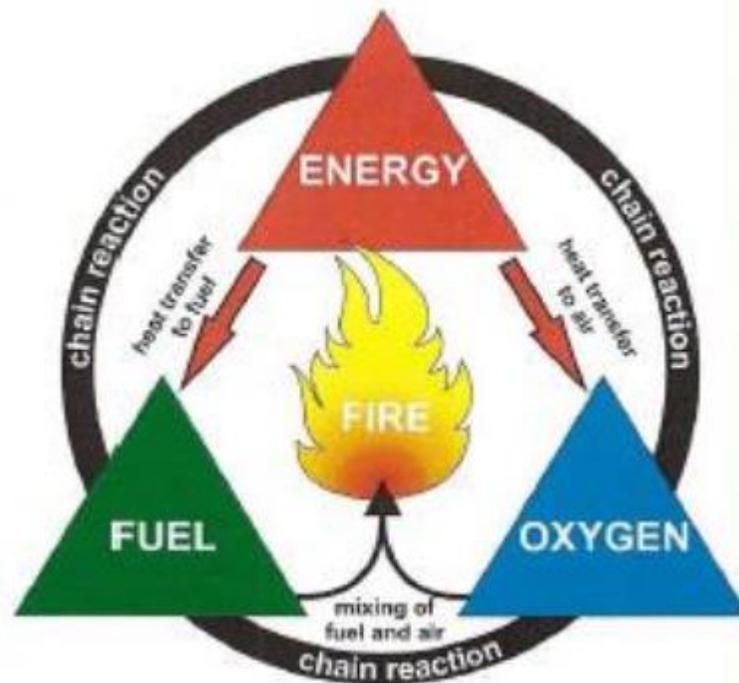
Cabe mencionar que en la actualidad existen diversos tipos de combustión, entre los que se destacan los siguientes:

**Combustión completa.** Es la que tiene lugar cuando se produce toda la reacción. También se denomina “combustión perfecta, pues los distintos componentes se oxidan de forma completa, lo que da lugar a que formen agua líquida y dióxido de carbono e incluso dióxido de azufre” (Pérez & Merino, 2016).

**Combustión incompleta.** Es la que “se produce cuando hay compuestos que no se queman del todo. Se trata de compuestos que pueden ser especialmente tóxicos. Entre esos se encuentra el hidrógeno y el monóxido de carbono” (Pérez & Merino, 2016).

**Combustión estequiométrica.** Es “la que tiene lugar cuando se utiliza la cantidad exacta de aire. Cuenta con la particularidad de que resulta ser tan perfecta que únicamente puede conseguirse en un laboratorio” (Pérez & Merino, 2016).

En resumen, en la combustión se tiene que generar la reacción química exotérmica entre el combustible y el oxígeno, la cual requiere además de estos dos componentes una fuente de ignición antes de que ocurra un incendio (figura 1), el fuego libera su energía en forma de calor y genera una reacción en cadena que dispara para sostener el fuego.



**Figura 1. Triángulo del fuego.**

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2017, p. 5).

Como se puede observar, el triángulo del fuego representa los elementos necesarios para que se produzca la combustión, los cuales se deben tener en cuenta para saber cómo extinguir un fuego, eliminando uno de los lados del triángulo.

### 3.2 Agua nebulizada

Este es un sistema de protección contra incendios que utiliza partículas muy pequeñas de agua, que permiten que el agua nebulizada controle, sofoque y suprima incendios mediante:

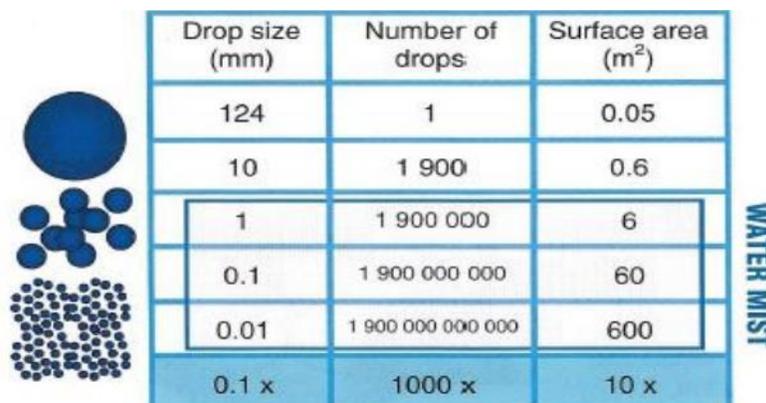
El enfriamiento de la llama y de los gases generados en la combustión

El desplazamiento de oxígeno por evaporación

La atenuación del calor radiante

La eficacia de un sistema de agua nebulizada en la supresión de incendios depende de las características de la niebla generada, entre las que se incluyen la distribución del tamaño de las pequeñas gotas de agua, la densidad de descarga y la dinámica de nebulización, con respecto a la situación en la que se produce el incendio, como por ejemplo el blindaje de combustibles, el tamaño del incendio y las condiciones de ventilación (Marioff Corporation, 2019).

Adicionalmente, el agua nebulizada es un sistema de control y extinción del fuego, que usa el agua dividida en gotas de tamaño inferior a 1000 micras, enfriando el fuego, desplazando el oxígeno por parte del vapor generado y atenuando el calor radiante (Grupo Aguilera, 2016). En este sentido, este sistema puede cubrir una mayor superficie expuesta al fuego por tener un menor tamaño y un mayor número de las gotas de agua (figura 2).

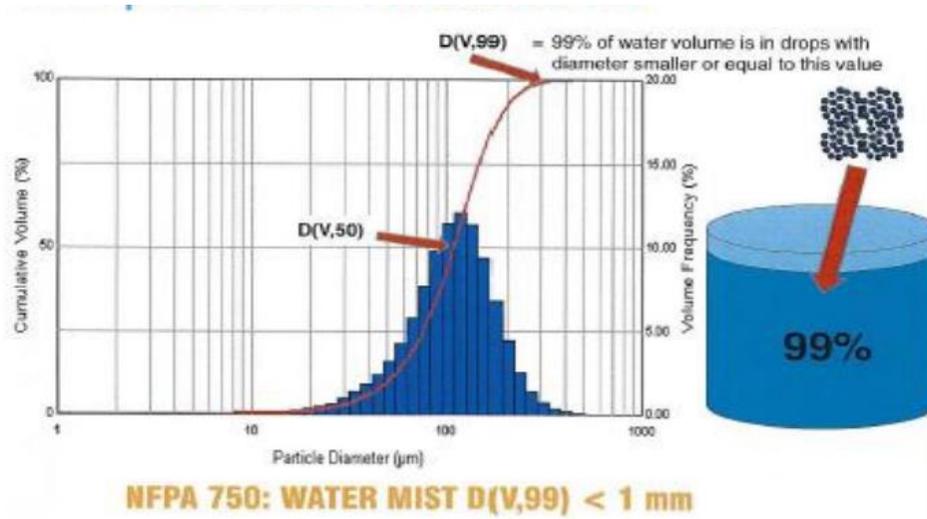


Drop size (mm)	Number of drops	Surface area (m <sup>2</sup> )
124	1	0.05
10	1 900	0.6
1	1 900 000	6
0.1	1 900 000 000	60
0.01	1 900 000 000 000	600
0.1 x	1000 x	10 x

**Figura 2. Tamaño de gotas del sistema de control y extinción del fuego por agua nebulizada.**

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2017, p. 7).

La distribución del tamaño de una gota se ve referenciado a continuación, según NFPA 750:



**Figura 3. Distribución del tamaño de una gota de agua nebulizada, según NFPA 750.**

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2017, p. 8).

### 3.2.1 Forma como actúa el agua nebulizada contra los agentes que generan la combustión

De acuerdo con el Grupo Aguilera (2016), la eficacia del agua se basa en la acción conjunta de tres acciones diferentes:

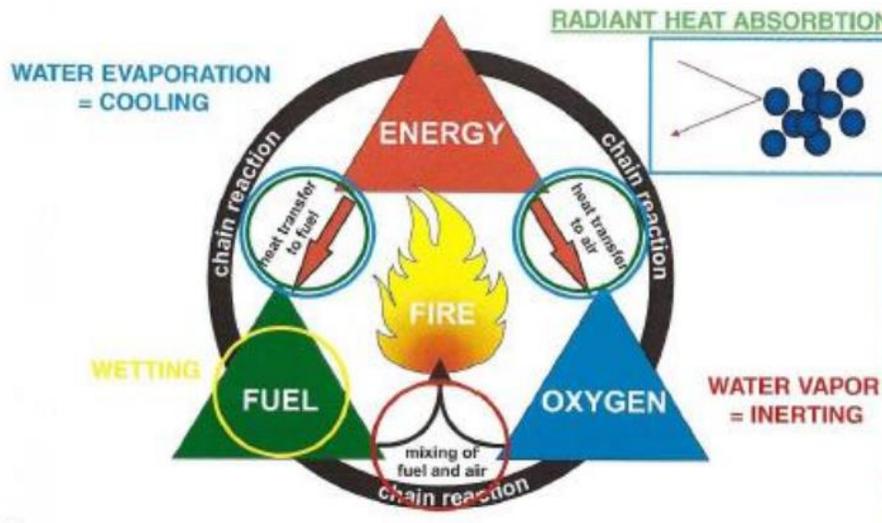
Evaporación (enfriamiento por absorción del calor)

Radiación (atenuación de la transmisión de calor)

Dilución (desplazamiento del oxígeno en el foco del fuego)

La elevada presión permite que el agua nebulizada penetre en el fuego en estado líquido, causando la evaporación en los lugares en los que su uso es más efectivo. A alta presión este sistema también llena de manera eficaz el espacio protegido y proporciona un enfriamiento superior, lo cual supone una protección para los equipos y estructuras. El potente empuje

descendente del agua nebulizada arrastra también el humo caliente envolvente, limitando su expansión y reduciendo el número de activaciones innecesarias de nebulizadores en zonas más alejadas de donde realmente está el fuego (figura 4). Esta propiedad contribuye a minimizar los daños provocados por el agua en comparación con los sistemas de rociadores tradicionales (Marioff Corporation, 2019).



**Figura 4. Acción del agua nebulizada sobre el fuego.**

Fuente: Universidad Nacional de Colombia (2017, p. 12).

### 3.3 Norma NFPA 750

La norma NFPA 750 para la instalación de sistemas de protección contra incendios mediante agua nebulizada se creó en 1993 debido al aumento de la popularidad de este tipo de sistemas, razón por la cual se hizo necesario disponer de una pauta que se pudiera aplicar a todos los sistemas de agua nebulizada (Marioff Corporation, s.f.).

NFPA 750 documenta una serie de aspectos y normativas referentes a los sistemas de agua nebulizada, entre los que se incluyen categorías, pruebas, diseño, componentes y estipulaciones básicas.

Los sistemas de agua nebulizada se introdujeron en la década de los cuarenta y se utilizaron para aplicaciones específicas, tales como en ferris de pasajeros. El renovado interés en estos sistemas se debe, parcialmente, a la eliminación del halón y a su potencial como sistema de seguridad contra incendios para espacios en los que es limitada la cantidad de agua que se puede almacenar o descargar. La aplicación y eficacia de los sistemas de agua nebulizada para ocupaciones residenciales, instalaciones de almacenamiento de líquidos inflamables y espacios para equipos eléctricos continúan siendo investigadas con resultados alentadores. NFPA 750 incluye elementos similares a los de normas sobre otro tipo de sistemas de protección contra incendios, como rociadores automáticos, agua pulverizada fija, dióxido de carbono y halón. En muchos aspectos, el agua nebulizada se puede considerar un híbrido de esos sistemas. En general, los sistemas de agua nebulizada utilizan agua como medio de extinción, supresión o control, aunque lo hacen de una manera no tradicional. En la elaboración de esta norma, el comité hizo referencia a los componentes y *hardware* de los sistemas, tipos de sistemas, requisitos de instalación, objetivos del diseño, clasificaciones de los riesgos, cálculos, suministros de agua, medios de atomización, planos, documentación, criterios de aceptación y consideraciones para su mantenimiento.

La edición 2000 de NFPA 750 representó un avance significativo en la tecnología del agua nebulizada y la base de conocimientos asociados con su aplicación. Esa edición incluyó una nueva definición de agua nebulizada, así como una nueva redacción y reorganización del Capítulo 5 “Objetivos del diseño y protocolos de pruebas de incendio”. Además, se agregaron secciones para describir las consideraciones de diseño y seguridad asociadas con las bombas de agua nebulizada de desplazamiento positivo. Se adicionaron nuevos lineamientos para la medición de las características de pulverización del agua nebulizada, incluyendo la distribución de las gotas.

Finalmente, se agregaron dos nuevos apéndices para describir los protocolos de pruebas de incendios vigentes y propuestos, así como la confiabilidad de los sistemas de agua nebulizada. La edición 2003 incorporó revisiones que actualizaron la norma para cumplir con el Manual de estilo para los documentos de los comités técnicos de NFPA, que incluyeron una reestructuración, excepciones reformuladas como requisitos y la transición a

un documento con unidades métricas como sistema primario. Esta edición incluyó requisitos actualizados para aditivos, métodos de dosificación, supervisión, métodos de cálculo e inspección y prueba de los sistemas de agua nebulizada. Se agregaron otros requisitos para la protección de los espacios de maquinarias en buques remolcadores. La edición 2006 de la norma actualizó los requisitos para soportes colgantes y otros soportes, suministros de agua de reserva, capacidades de las bombas y conexiones de prueba apropiadas. Por su parte, la edición 2010 incorporó nuevo material en anexos, describiendo los lineamientos sobre la obstrucción en la descarga de las boquillas y una gran cantidad de revisiones editoriales. La edición 2015 de NFPA 750 muestra un significativo desarrollo en los conocimientos para el diseño de los sistemas de agua nebulizada para diversas ocupaciones definidas. Se agregaron dos capítulos para abordar la dinámica de la clasificación de las ocupaciones en el diseño de un sistema de agua nebulizada: Capítulo 5 “Clasificación de las ocupaciones” y Capítulo 10 “Sistemas de protección de ocupaciones”. Además, se eliminaron las secciones de inspección, prueba y mantenimiento para sistemas de agua nebulizada, excepto aquellos instalados en viviendas unifamiliares y bifamiliares, ahora se hace referencia a NFPA 25, Norma para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios a base de agua (National Fire Protection Association NFPA, 2015, pp. 1-2).

Normas como la NFPA 750 aportan valor y claridad al sector de la industria, ya que obliga a las compañías a seguir un conjunto de criterios mínimos. Por ejemplo, esta norma requiere un enfoque basado en prestaciones de todos los proveedores de agua nebulizada, obligándolos a comprobar y demostrar el rendimiento de sus sistemas con incendios reales antes de realizar proyectos para clientes (Marioff Corporation, s.f.).

El objetivo de esta norma es proporcionar protección para la vida y la propiedad contra incendios mediante la estandarización de los requisitos de diseño, instalación, mantenimiento y prueba para los sistemas de extinción de incendios a base de agua que utilizan una pulverización específica (nebulizada) que absorbe calor, desplaza el oxígeno o bloquea el calor radiante para controlar, suprimir o extinguir incendios según lo requiera la aplicación (Villafuerte, 2018).

### 3.4 Norma ET CEN 14972

Es la especificación técnica europea (cuya última versión se publicó en septiembre de 2014) para el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de agua nebulizada. Es el equivalente europeo a la NFPA 750 (aunque mucho más reciente). Está en el mercado de carácter prestacional (remite a la aprobación de los fabricantes para cada uno de los sistemas). Además, incluye varios protocolos de ensayo para diferentes riesgos. La ET CEN 14972 dice:

Esta especificación técnica define los requisitos mínimos y proporciona información de diseño, instalación y prueba, y proporciona criterios para la aceptación de sistemas terrestres de niebla de agua fijos para peligros específicos y proporciona protocolos de prueba. Prueba de fuego para una variedad de grupos de riesgo. Los requisitos no son válidos para sistemas de nebulización de agua, aeronaves, vehículos o dispositivos móviles contra incendios o sistemas subterráneos en la industria minera. Los aspectos de la niebla de agua asociada con la protección contra explosiones están fuera del alcance de este documento. Las pruebas de incendio descritas en este documento se aplican como se describe en el Anexo A. La extrapolación no se tiene en cuenta. El documento no es un manual de diseño universal para sistemas de agua nebulizada porque los sistemas tienen características diferentes y, por lo tanto, involucran diversos criterios de diseño para cumplir con los requisitos de su servicio. En ausencia de un método de diseño generalizado, este documento está destinado a proporcionar pruebas a gran escala de los sistemas de agua nebulizada y tiene sus componentes de sistema evaluados por laboratorios de prueba calificados. La recepción de todo el sistema requiere un informe de prueba de incendio correspondiente, el (los) informe (s) de prueba del componente y el diseño, instalación, operación y mantenimiento del fabricante para su aplicación. Si el gas del sistema es el factor esencial de extinción / supresión se deben tener en cuenta las partes correspondientes relevantes de EN 12094 y EN 15004-1. No se tienen en cuenta las instalaciones contra incendios según EN 12845 y los sistemas de rociado de agua (Asociación Española de Normalización - UNE, 2014, p. 7).

## **4. Principales parámetros de diseño e instalación de sistemas que utilizan agua nebulizada, según NFPA 750**

### **4.1 Generalidades de la NFPA 750**

Esta norma contiene el mínimo de requisitos para el diseño, instalación, mantenimiento y prueba del sistema de agua nebulizada, pero no proporciona un criterio definitivo referente a su rendimiento ni ofrece especificidad y orientación sobre la forma de diseñar un procedimiento para controlar, suprimir o apagar un incendio en sistemas de agua nebulizada; razón por la cual la adquisición e instalación de este equipo se debe basar en la confianza de sistemas que han demostrado rendimiento en pruebas de fuego, como parte de un proceso de listado bien sea por UL o FM. Por tanto, la aceptación total del sistema requiere el informe de prueba de componentes, así como el diseño del fabricante, instalación, operación y mantenimiento, además de un manual de la aplicación.

Por otro lado, cabe resaltar que la norma NFPA 750, a diferencia de otras normas como la NFPA 13 “Sistema de protección de rociadores automáticos”, no exige parámetros básicos de diseño, solamente demanda a cada proveedor de agua nebulizada que sus sistemas (tanques, equipos, tuberías y boquillas) estén aprobados y avalados por autoridades competentes.

De acuerdo con lo anterior, a continuación se resumen algunos capítulos de la NFPA 750, que se consideran los más relevantes para la presente investigación.

#### **4.1.1 NFPA 750 - Capítulo 3 “Definiciones”**

Este capítulo contiene las definiciones generales que utiliza la norma. A continuación se referencian las principales.

**Tabla 1. Definiciones oficiales NFPA Numeral 3.2**

<b>Numeral</b>	<b>Definición</b>
3.2.1 Aprobado (Approved)	Acceptable para la autoridad competente.
3.2.2 Autoridad competente (Authority Having Jurisdiction o AHJ).	Una organización, oficina o individuo responsable de hacer cumplir los requisitos de un código o norma, o de aprobar equipos, materiales, una instalación o un procedimiento.
3.2.3 Listado (Listed).	Equipos, materiales o servicios incluidos en una lista publicada por una organización que es aceptable para la autoridad competente, que está relacionada con la evaluación de productos o servicios, que mantiene inspecciones periódicas de la producción de los equipos o materiales listados, o evaluaciones periódicas de los servicios, y que por medio del listado establece que los equipos, materiales o servicios cumplen con normas designadas apropiadas o que han sido probados y considerados aptos para un propósito específico.

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 9).

Cabe aclarar que la Factory Mutual (FM, EEUU), Underwriters Laboratories (UL, EEUU) y VdS (Alemania) son las autoridades de mayor prestigio internacional en cuanto a la estandarización de sistemas de agua nebulizada.

Por otra parte, para lanzar un producto al mercado las empresas realizan constantemente ensayos de sus productos con autoridades competentes en sistemas de agua nebulizada, por lo que la norma NFPA 750 clasifica y define los diferentes sistemas de presión, como se muestra a continuación (tabla 2).

**Tabla 2. Definiciones generales NFPA Numeral 3.3**

<b>Numeral</b>	<b>Definición</b>
3.3.10 Sistema de presión alta (High Pressure System)	Un sistema de agua nebulizada donde la tubería del sistema de distribución está expuesta a presiones de 34.5 bar (500 psi) o mayores.
3.3.11 Sistema de presión intermedia (Intermediate Pressure System).	Un sistema de agua nebulizada donde la tubería del sistema de distribución está expuesta a presiones mayores de 12.1 bar (175 psi), pero menores de 34.5 bar (500 psi).
3.3.12 Sistema de presión baja (Low Pressure System).	Un sistema de agua nebulizada donde la tubería de distribución está expuesta a presiones de 12.1 bar (175 psi) o menos.

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 9).

De acuerdo con la tabla 2, los sistemas de agua nebulizada trabajan generalmente a presión alta, 34,5 bares (500 psi). En este sentido, la NFPA 750, en su numeral 3.3.24 Sistema de agua nebulizada (Water Mist System), la define como:

Un sistema de distribución conectado a suministros de agua o medios de atomización, equipado con una o más boquillas capaces de proporcionar agua nebulizada prevista para controlar, suprimir o extinguir incendios y que ha demostrado cumplir con los requisitos de desempeño de su listado y de esta norma (NFPA, 2015, p. 10).

Así mismo, la NFPA 750 clasifica y define los tipos de sistemas de agua nebulizada utilizados y aprobados, como se muestra a continuación.

**Tabla 3. Sistemas de agua nebulizada NFPA Numeral 3.3.24**

Numeral	Definición
3.3.24.1 Sistema de diluvio de agua nebulizada (Deluge Water Mist System).	Utiliza boquillas de nebulización no automáticas (abiertas) adosadas a una red de tuberías conectada al(los) suministro(s) de fluido a través de una válvula controlada por un sistema de detección independiente instalado en la misma área que las boquillas de nebulización.
3.3.24.2 Sistema de agua nebulizada de tubería seca (Dry Pipe Water Mist System)	Utiliza boquillas automáticas adosadas a un sistema de tuberías que contiene aire, nitrógeno o gas inerte bajo presión, cuya liberación (proveniente, por ejemplo, por la apertura de una boquilla automática) permite que la presión del agua abra una válvula de tubería seca. El agua fluye, entonces, hacia el sistema de tuberías y hacia afuera, a través de cualquiera de las boquillas abiertas.
3.3.24.3 Sistema de agua nebulizada diseñado mediante ingeniería (Engineered Water Mist Systems).	Aquellos sistemas que requieren un cálculo y un diseño individual para determinar las tasas de flujo, las presiones de las boquillas, el tamaño de la tubería, el área o volumen protegido por cada boquilla, la densidad de descarga del agua nebulizada, la cantidad y tipos de boquillas, así como la colocación de la boquilla en un sistema específico.
3.3.24.4 Sistema de agua nebulizada de aplicación local (Local-Application Water Mist System)	Dispuesto para descargar directamente sobre un objeto o riesgo en una condición de cerramiento, de no cerramiento o a la intemperie.

**Tabla 3 (continuación)**

<b>Numeral</b>	<b>Descripción</b>
3.3.24.6 Sistema de agua nebulizada de acción previa (Preaction Water Mist System)	Utiliza boquillas automáticas adosadas a un sistema de tuberías que contiene aire que podría estar bajo presión o no, con un sistema de detección complementario instalado en las mismas áreas que las boquillas de nebulización. La activación del sistema de detección abre una válvula que permite que el agua fluya hacia el sistema de tuberías y se descargue a través de todas las boquillas abiertas del sistema.
3.3.24.7* Sistema de agua nebulizada pre-desarrollado mediante ingeniería (Pre-Engineered Water Mist Systems).	Aquellos sistemas con tamaños predeterminados de tuberías; longitudes de tuberías máximas y mínimas; cantidad de accesorios, tipos y presiones de boquillas; medios de atomización y cantidades de almacenamiento de agua que no requieren cálculos hidráulicos adicionales.
3.3.24.8 Sistema de agua nebulizada para aplicación en la totalidad de un compartimiento (Total Compartment Application Water Mist System).	Un sistema de diluvio de agua nebulizada que brinda protección completa en un recinto o espacio mediante el funcionamiento simultáneo de todas las boquillas, por medios manuales o automáticos.
3.3.24.9 Sistema de agua nebulizada de tubería húmeda (Wet Pipe water mist system)	Utiliza boquillas automáticas adosadas a un sistema de tuberías que contiene agua y está conectado a un suministro de este líquido, de manera que el agua descarga inmediatamente desde las boquillas activadas por el calor de un incendio.
3.3.24.10 Sistema de agua nebulizada de aplicación zonificada (Zoned Application Water Mist System).	Un sistema de agua nebulizada para aplicar en la totalidad de un compartimiento que utiliza boquillas no automáticas o automáticas entremezcladas, en el que la red de tuberías está subdividida en zonas predeterminadas, monitoreadas por válvulas de control individuales y que protege una parte predeterminada del compartimiento por medio de la activación manual o automática de un grupo seleccionado de boquillas.
3.3.25 Agua nebulizada, medios de atomización (Water Mist, Atomizing Media).	Aire comprimido u otros gases que producen agua nebulizada mediante su mezcla mecánica con agua.

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, pp. 10-11).

#### 4.1.2 NFPA 750 - Capítulo 5 “Clasificación de las ocupaciones”

En la norma NFPA 750 se manejan las diferentes ocupaciones mencionadas en la NFPA 13 “Sistemas de rociadores automáticos”. Según el numeral 5.1.1, “la clasificación de las ocupaciones debe estar relacionada únicamente con los requisitos de diseño, instalación y suministro de agua del sistema de agua nebulizada, según lo designado para las ocupaciones por su listado” (NFPA, 2015, p. 12). En la tabla 4 se evidencian las ocupaciones según lo que establece esta norma.

**Tabla 4. Clasificación de las ocupaciones según NFPA 750**

Numeral	Descripción
5.1.1.1 Ocupaciones de riesgo leve	Las ocupaciones de riesgo leve deben definirse como ocupaciones o partes de otras ocupaciones donde la cantidad o combustibilidad de los contenidos es baja y se prevén incendios con tasas de liberación de calor relativamente bajas.
5.1.1.2 Riesgo ordinario (Grupo 1)	Las ocupaciones de riesgo ordinario (grupo 1) deben definirse como ocupaciones o partes de otras ocupaciones donde la combustibilidad es baja, la cantidad de combustibles es moderada, los apilamientos de existencias de combustible no exceden de 2.4 m (8 pies) y se prevén incendios con tasas de liberación de calor moderadas.
5.1.1.3 Riesgo ordinario (Grupo 2).	Las ocupaciones de riesgo ordinario (grupo 2) deben definirse como ocupaciones o partes de otras ocupaciones donde la cantidad y combustibilidad de los contenidos son de moderadas a altas, los apilamientos de los contenidos con tasas de liberación de calor moderadas no exceden de 3.66 m (12 pies) y los apilamientos de los contenidos con tasas de liberación de calor altas no exceden de 2.4 m (8 pies).

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, pp. 10-11).

Adicionalmente, el numeral 5.2 relaciona la clasificación de las aplicaciones específicas para los sistemas de agua nebulizada, destacando que “deben estar relacionados con los requisitos de diseño, instalación y suministro de agua” (NFPA, 2015, p. 12) y que las aplicaciones específicas incluyen riesgos y condiciones similares a las que se mencionan a continuación:

- 1) Espacios de maquinarias
- 2) Turbinas de combustión

- 3) Bancos de trabajo húmedo y otros equipos de procesamiento similares
- 4) Aplicación local
- 5) Cocinas industriales de aceite
- 6) Pisos elevados de salas de informática
- 7) Campanas extractoras para productos químicos
- 8) Prensas continuas de paneles de madera (NFPA, 2015, p. 12)

#### 4.1.3 NFPA 750 - Capítulo 6 “Componentes del sistema”

En este capítulo se referencian los principales elementos que lleva un sistema de agua nebulizada, como contenedores de gas y tanques de almacenamiento; tuberías, accesorios, soportería colgante, boquillas o rociadores de agua nebulizada; válvulas, tamices y filtros; bombas y sistemas de bombeo y detección; activación y alarmas (monitoreo). La NFPA 750 especifica para cada uno aspectos como definición, diseño, instalaciones y especificaciones técnicas, entre otros, y que se deben tener en cuenta en los diferentes sistemas.

**Tabla 5. Contenedores de gas y tanques de almacenamiento NFPA 750**

Numeral	Descripción
6.2.1 Capacidad.	Los contenedores de gas y agua, donde se provean, deben ser de un tamaño que permita suministrar las cantidades de gas y agua según lo establecido en el Capítulo 12.
6.2.2.1 Instalación	Los contenedores de gas y agua deben estar diseñados para la instalación de acuerdo con lo descrito en el manual de instalación del fabricante, incluyendo la disposición para la fijación de restricciones sísmicas donde sean requeridas.
6.2.2 Diseño	Los contenedores de gas y agua sometidos a presurización deben ser hechos, probados, aprobados, equipados y señalizados de acuerdo con las especificaciones vigentes de ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sección VIII, o con los requisitos del Departamento de Transporte de los Estados Unidos, 49 CFR 171–190, 178.36– 178.37 u otras normas internacionales aprobadas.
6.2.2.2 Especificaciones	

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 12).

**Tabla 6. Tuberías y tubos**

Numeral	Descripción
6.3.1 Generalidades.	6.3.1.1 Todas las superficies mojadas de tuberías, válvulas y accesorios, desde el tamiz del sistema hasta la boquilla, deben tener una resistencia a la corrosión al menos equivalente a la de la tubería, según lo especificado en la tabla 6.3.3.1. 6.3.1.2 Dondequiera que se emplee el término tubería, debe entenderse que su significado también es tubo.
6.3.2 Otros tipos de tuberías o tubos.	6.3.2.1 Deben permitirse otros tipos de tuberías o tubos que en investigaciones se hayan determinado como adecuados para instalaciones de sistemas de agua nebulizada y listados para este servicio, en el que se instalen de acuerdo con sus limitaciones de listado, incluyendo las instrucciones de instalación.
6.3.4 Sistemas de presión intermedia y alta	6.3.4.1 Las tuberías o tubos deben ser de un material no combustible, con características físicas y químicas tales que su deterioro bajo tensión pueda predecirse de manera confiable. 6.3.4.2 Las tuberías deben estar de acuerdo con ASME B31.1, Power Piping Code, o con EN-13480-3, Metallic Industrial Piping Code. 6.3.4.3 Donde las ecuaciones mencionadas en ASME B31.1, Power Piping Code, o en EN-13480-3, Metallic Industrial Piping Code, se apliquen para calcular ya sea la presión de diseño (Pw) de una tubería o tubo específicos o su espesor mínimo de pared (tm) para una presión de trabajo específica debe emplearse una temperatura del acero de 54 °C (130 °F) o la temperatura ambiente prevista a la que la tubería o el tubo estarán expuestos, la que sea mayor.

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 13).

**Tabla 7. Tabla 6.3.3.1 normas sobre tuberías o tubos NFPA 750**

Materiales, dimensiones y títulos de las normas	Norma núm.
<b>Tubo de cobre (estirado, sin costura)</b>	
Standard Specification for Solder Metal [95-5 (estaño-antimonio-grado 95TA)]	ASTM B 32
Standard Specification for Seamless Copper Tube*	ASTM B 75
Standard Specification for Seamless Copper Water Tube*	ASTM B 88
Standard Specification for General Requirements for Wrought Seamless Copper and Copper-Alloy Tube	ASTM B 251
Standard Specification for Liquid and Paste Fluxes for Soldering Applications of Copper and Copper-Alloy Tube	ASTM B 813
Specification for Filler Metals for Brazing and Braze Welding (Clasificación BCuP-3 o BCuP-4)	AWS A5.8
<b>Acero inoxidable</b>	
Standard Specification for Seamless and Welded Austenitic Stainless Steel Tubing for General Service	ASTM A 269
Standard Specification for Seamless and Welded Austenitic Stainless Steel Tubing (Small-Diameter) for General Service	ASTM A 632
Standard Specification for Welded, Unannealed Austenitic Stainless Steel Tubular Products	ASTM A 778
Standard Specification for Seamless and Welded Ferritic/Austenitic Stainless Steel Tubing for General Service	ASTM A 789/ A 789M

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 13).

**Tabla 8. Accesorios NFPA 750**

Numeral	Descripción
6.4.1 Generalidades.	<p>6.4.1.1 Accesorios. Todos los accesorios que se utilicen en las tuberías descritas en 6.3.1 deben tener una resistencia a la corrosión al menos equivalente a la de los accesorios de cobre forjado que cumplan con ASME/ANSI B16.22.</p> <p>6.4.1.2 Las aleaciones de soldaduras y soldadura fuerte deben tener un punto de fusión de más de 538 °C (1000 °F).</p> <p>6.4.1.2.1 Los accesorios de conversión de unidades métricas a fraccionarias deben estar identificados por color o mediante etiquetas para una rápida notificación en el campo.</p> <p>6.4.1.2.2 En las instalaciones debe haber un mínimo de un accesorio de conversión de repuesto de cada tipo, de modo que si se daña alguno se pueda remplazar con prontitud.</p> <p>6.4.1.2.3 La información sobre accesorios de conversión debe estar contemplada en los planos.</p>
6.4.3 Sistemas de presión intermedia y alta.	<p>6.4.3.1 Los accesorios deben tener una presión de trabajo de diseño del sistema con una certificación mínima igual o mayor que la presión operativa máxima de los sistemas de agua nebulizada a 54 °C (130 °F).</p> <p>6.4.3.2 Para los sistemas que utilizan un dispositivo regulador de presión en la tubería de distribución, los accesorios situados aguas abajo del dispositivo deben tener una presión de trabajo de diseño del sistema con una certificación mínima igual o mayor que la presión máxima anticipada de la tubería situada en la dirección descendente.</p> <p>6.4.3.3 Todas las roscas que se utilicen en juntas y accesorios deben cumplir con ANSI/ASME B1.20.1, Pipe Threads, General Purpose (Inch).</p> <p>6.4.3.4 Compuestos para juntas, cintas o lubricantes para roscas deben aplicarse únicamente a las roscas macho de la junta.</p> <p>6.4.3.5 Las soldaduras eléctricas y autógenas deben efectuarse de acuerdo con la Sección IX de ANSI/ASME Boiler and Pressure Vessel Code.</p>

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 15).

**Tabla 9. Soportes colgantes u otros soportes NFPA 750**

Numeral	Descripción
6.5.1 Soportes.	<p>Todas las referencias a soportes colgantes deben aplicar a otros soportes.</p> <p>6.5.2 Debe permitirse que los soportes colgantes que se utilicen en sistemas de agua nebulizada de presión baja estén diseñados e instalados de acuerdo con NFPA 13, Norma para la Instalación de Sistemas de Rociadores.</p>
6.5.3 Listado.	<p>A menos que se cumplan los requisitos de 6.5.4, los soportes colgantes deben estar listados para utilizarse con la tubería o tubo en cuestión.</p>
6.5.4 Soportes colgantes especialmente diseñados.	<p>6.5.4.1 No deben aplicarse los requisitos de 6.5.3 a los soportes colgantes que cumplen las siguientes condiciones:</p> <p>(1) Debe presentarse documentación que demuestre que los soportes colgantes y el método de colgado están reconocidos como una buena práctica de la industria para el sistema de tuberías.</p>

**Tabla 9. (Continuación)**

Numeral	Descripción
---------	-------------

- (2) Los soportes colgantes deben estar diseñados para sostener cinco veces el peso de la tubería o tubo cuando están llenos de gas o agua, basándose en el uso de la tubería o tubo del sistema más 114 kg (250 lb) en cada uno de los puntos de soporte de la tubería.
- (3) Los puntos de soporte deben poder sostener el sistema de agua nebulizada.
- (4) Los componentes del soporte colgante deben ser de metal.
- (5) Deben permitirse insertos de plástico en las abrazaderas de tubos, a fin de evitar reacciones a metales disímiles o amortiguar las vibraciones.

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 15).

**Tabla 10. Boquillas o rociadores de agua nebulizada NFPA 750**

Numeral	Descripción
6.6.1 Listado.	<p>Las boquillas deben estar listadas ya sea de manera individual o como parte de un sistema previamente desarrollado mediante ingeniería. La información del listado debe incluir lo siguiente:</p> <p>(1) Riesgos específicos y objetivos de la protección.</p> <p>(2) Características de la tasa de flujo volumétrico de la descarga de agua de cada boquilla.</p> <p>(3) Altura máxima del espacio protegido.</p> <p>(4) Distancia mínima entre la punta o difusor de la boquilla, según corresponda, y el plano de protección.</p> <p>(5) Espaciamiento máximo entre boquillas.</p> <p>(6) Área de cobertura máxima por boquilla.</p> <p>(7) Espaciamiento mínimo entre boquillas.</p> <p>(8) Altura máxima entre el cielorraso y el difusor o punta de la boquilla, según corresponda.</p> <p>(9) Criterios de espaciamiento ante obstrucción de la boquilla</p> <p>(10) Espaciamiento máximo de las boquillas desde los muros.</p> <p>(11) Rango de presión operativa de la boquilla.</p> <p>(12) Rango permitido del ángulo de orientación de la boquilla desde la vertical hacia abajo.</p> <p>(13) Clasificación de las características de la respuesta térmica automática de la boquilla como repuesta rápida, especial o estándar.</p> <p>(14) Volumen máximo del compartimiento, si corresponde.</p> <p>(15) Retardo máximo de tiempo para la llegada del agua nebulizada hacia la boquilla más remota.</p>
6.6.2 Boquillas nuevas.	En los sistemas de agua nebulizada deben instalarse solamente boquillas nuevas.
6.6.3 Señalización.	Las boquillas deben estar señalizadas de manera permanente para identificar el fabricante, tipo y tamaño de los orificios o número de parte.
6.6.4 Protección contra la corrosión	Debe requerirse una protección adicional contra la corrosión, como revestimientos o materiales especiales, resistentes en atmósferas altamente corrosivas.
6.6.5 Revestimientos protectores	Donde se usen revestimientos protectores para cumplir con los requisitos de 6.1.3, los revestimientos los debe aplicar el fabricante de la boquilla, esta última debe estar listada.

**Tabla 10. (Continuación)**

Numeral	Descripción
---------	-------------

6.6.6 Discos frangibles o tapas expulsables	6.6.6.1 Donde sea posible la obstrucción por materias extrañas, las boquillas de descarga deben estar provistas de discos frangibles, tapas expulsables u otros dispositivos listados. 6.6.6.2 Estos dispositivos deben proveer una abertura sin obstrucciones en el funcionamiento del sistema y estar ubicados de manera que no provoquen lesiones en el personal.
6.6.7 Boquillas de activación térmica	6.6.7.1 Las certificaciones de temperatura normalizada de las boquillas individuales de activación térmica deben ser las que se muestran en la Tabla 6.6.7.1.

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 15).

**Tabla 11. Tabla 6.6.7.1 NFPA Certificación de temperatura, clasificaciones y codificación por color de boquillas individuales, de activación térmica**

Temperatura ambiente máxima		Certificación de temperatura de la boquilla		Clasificación de la temperatura	Código de color	Color del bulbo de vidrio
°C	°F	°C	°F			
38	100	57 a 77	135 a 170	Ordinaria	Sin color o negro	Naranja o rojo
66	150	79 a 107	175 a 225	Intermedia	Blanco	Amarillo o verde
107	225	121 a 149	250 a 300	Alta	Azul	Azul
149	300	163 a 191	325 a 375	Extra alta	Rojo	Púrpura
191	375	204 a 246	400 a 475	Muy extra alta	Verde	Negro
246	475	260 a 302	500 a 575	Ultra-alta	Naranja	Negro
329	625	343	650	Ultra-alta	Naranja	Negro

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 16).

**Tabla 12. Válvulas NFPA 750**

Numeral	Descripción
6.7.1 Listado de válvulas	6.7.1.1 A menos que se cumplan los requisitos de 6.7.1.2, todas las válvulas deben estar listadas para su uso previsto. 6.7.1.2 No deben aplicarse los requisitos de 6.7.1.1 a las válvulas que se utilicen únicamente para drenajes o conexiones de prueba, que deben ser aprobadas.
6.7.2 Compatibilidad	Todas las empaquetaduras, juntas tóricas, selladores y otros componentes de las válvulas deben estar hechos de materiales compatibles con el gas o el agua y todos los aditivos contenidos en esta última.
6.7.3 Identificación de las válvulas	6.7.3.1 Todas las válvulas de control, drenaje y conexiones de prueba deben estar provistas de letreros de identificación de plástico rígido o metal, impermeables y de señalización permanente. 6.7.3.2 El letrero se debe fijar de manera segura con alambres, cadenas u otros medios aprobados, resistentes a la corrosión.

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 17).

**Tabla 13. Tamices y filtros NFPA 750**

Numeral	Descripción
6.8.1 Listado	Debe proveerse un tamiz del sistema en la dirección aguas abajo de cada sistema de

	suministro de agua, tanque de suministro, bomba, tramo de tubería, accesorio, válvula u otro componente de la tubería con una superficie mojada que no tenga una resistencia a la corrosión equivalente a la de los materiales mencionados en las tablas 6.3.3.1 o 6.4.2.1.
6.8.2 Dimensiones de flujo, presión y duración	El tamiz o filtro debe estar dimensionado para el funcionamiento continuo a la presión y el flujo mínimos requeridos, según la verificación de los cálculos hidráulicos, para la duración mínima del suministro de agua.
6.8.3 Resistencia a la corrosión	Cada tamiz del sistema debe tener una resistencia a la corrosión equivalente a la de los materiales mencionados en la Tabla 6.4.2.1.
6.8.4 Listado	Los tamices y filtros de las tuberías deben estar listados para uso en las conexiones de suministro de agua.
6.8.5 Conexión para vaciado	Los diseños de los tamices y filtros de las tuberías deben incorporar una conexión para vaciado.

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 17).

**Tabla 14. Bombas y sistemas de bombeo NFPA 750**

Numeral	Descripción
6.9.1.1 Norma de instalación	Las bombas para sistemas de agua nebulizada se deben instalar de acuerdo con NFPA 20, Norma para la instalación de bombas estacionarias de protección contra incendios.
6.9.1.2 Capacidad	Las bombas deben estar diseñadas con capacidades que cumplan con 12.5.2.
6.9.1.3 Sobrepresión	6.9.1.3.1 Las bombas con capacidad de sobrepresurizar el sistema deben estar provistas de un medio de alivio de presión aprobado para evitar un aumento excesivo de la presión y la temperatura. 6.9.1.3.2 La sobrepresión no debe exceder la presión de diseño del sistema de tuberías.
6.9.1.4 Arranque automático	Las bombas deben arrancar automáticamente al momento de la activación del sistema.
6.9.1.5 Manómetros	Con el fin de evitar daños, los manómetros se deben aislar donde las vibraciones de la bomba impacten en su desempeño.
6.9.1.6 Placa informativa de las bombas	Las instalaciones de las bombas deben tener una placa de metal que contenga la siguiente información: (1) Capacidad nominal y presión nominal de cada bomba. (2) Capacidad del conjunto de montaje de la bomba, con todas las bombas en funcionamiento. (3) Capacidad de la válvula de descarga de presión donde haya una válvula de descarga de presión por bomba. (4) Capacidad de la válvula de descarga de presión del colector donde haya una descarga para todo el conjunto de montaje de la bomba. (5) Ajuste de la presión para cada válvula de descarga de presión individual.

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 17).

**Tabla 15. Detección, activación y alarmas (monitoreo) NFPA 750**

Numeral	Descripción
6.10.1 Generalidades	6.10.1.1 Normas sobre instalación, probar y mantener de acuerdo con las siguientes normas para sistemas de

	prueba y mantenimiento	señalización de protección, según sea aplicable: (1) NFPA 70, Código Eléctrico Nacional. (2) NFPA 72, Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización. (3) CAN/ULC S524-06, Standard for the Installation of Fire Alarm Systems (Canadá). (4) CAN/ULC S529-02, Standard for Smoke Detectors for Fire Alarm Systems (Canadá).
	6.10.1.2 Sistemas automáticos.	A menos que se cumplan los requisitos de 6.10.1.3, donde se utilice un sistema de detección para activar los sistemas de agua nebulizada y de aditivos, la detección y la activación deben ser automáticas.
6.10.2 Detección automática	6.10.2.1 Listado	La detección automática debe efectuarse mediante equipos listados, instalados de acuerdo con NFPA 72, Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización.
	6.10.2.2 Energía primaria y de reserva.	Deben usarse fuentes de energía adecuadas y confiables, primarias y de reserva, con un mínimo de 24 horas, que provean los requerimientos de funcionamiento de detección, señalización y control de los sistemas.

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 18).

#### 4.1.4 NFPA 750 Capítulo 7 Requisitos del sistema

Este capítulo hace referencia a los requisitos mínimos para el diseño, instalación, mantenimiento y prueba de un sistema de agua nebulizada. A continuación se muestran sus aspectos generales.

**Tabla 16. Requisitos del sistema**

Numeral	Descripción
7.1 Generalidades	Los sistemas de agua nebulizada deben describirse mediante los siguientes cuatro parámetros, según corresponda: 1) Aplicación del sistema 2) Tipo de boquilla 3) Método operativo del sistema 4) Tipo de medios del sistema

**Tabla 16. (Continuación)**

Numeral	Descripción
7.2 Aplicaciones del sistema	Las aplicaciones del sistema deben consistir en una de las siguientes cuatro categorías: 1) Sistemas de aplicación local 2) Sistemas de aplicación en la totalidad de un compartimento 3) Sistemas de aplicación zonificada

	4) Sistemas de protección de una ocupación
7.2.1 Sistemas de aplicación local.	<p>7.2.1.1 Los sistemas de aplicación local se deben diseñar e instalar para proveer una distribución completa de la nebulización en o alrededor del riesgo u objeto que se va a proteger.</p> <p>7.2.1.2 Los sistemas de aplicación local se deben diseñar para proteger un objeto o un riesgo en una condición de cerramiento, sin cerramiento o en espacios exteriores abiertos.</p> <p>7.2.1.3 Los sistemas de aplicación local se deben activar ya sea mediante una boquilla automática o, bien, un sistema de detección integrado con boquillas de agua nebulizada no automáticas.</p>
7.2.2 Sistemas de aplicación en la totalidad de un compartimiento	<p>7.2.2.1 Los sistemas de aplicación en la totalidad de un compartimiento se deben diseñar e instalar para proveer protección completa en un recinto o espacio.</p> <p>7.2.2.2 La protección completa de un recinto o espacio debe obtenerse mediante el funcionamiento simultáneo por medios manuales o automáticos de todas las boquillas que estén en el espacio.</p>
7.2.3 Sistemas de aplicación zonificada	<p>7.2.3.1 Los sistemas de aplicación zonificada se deben diseñar para proteger una parte predeterminada del recinto mediante la activación de un grupo seleccionado de boquillas.</p> <p>7.2.3.2 Los sistemas de aplicación zonificada se deben diseñar e instalar para proveer una distribución completa de la nebulización en la parte predeterminada de un cerramiento o espacio. Esto debe obtenerse mediante el funcionamiento simultáneo de un grupo seleccionado de boquillas en una parte predeterminada del espacio, a través de medios manuales o automáticos o mediante un sistema de detección independiente.</p>
7.2.4 Sistemas de protección de una ocupación	<p>7.2.4.1 Los sistemas de protección de una ocupación se deben diseñar e instalar para proveer protección automática contra incendios en todo un edificio u ocupación.</p> <p>7.2.4.2 Los sistemas o dispositivos de protección de una ocupación deben estar listados para la clasificación de la ocupación prevista, según el Capítulo 5, a menos que esta norma lo permita de otra manera.</p> <p>7.2.4.3 Los sistemas de protección de una ocupación que se utilicen contra incendios en edificios u ocupaciones deben ser del tipo de tubería húmeda, seca o de acción previa.</p> <p>7.2.4.4 Los sistemas de protección de una ocupación se deben accionar a través de boquillas de agua nebulizada automáticas o mediante un sistema de detección integrado.</p>

**Tabla 16 (continuación)**

Numeral	Descripción
7.3 Tipos de boquillas	<p>Las boquillas de agua nebulizada se deben clasificar en uno de los siguientes tres tipos:</p> <p>1) Automáticas</p> <p>2) No automáticas</p> <p>3) Multifuncionales</p>
7.4 Requisitos del sistema	<p>7.4.1 Sistemas de diluvio</p> <p>7.4.1.1 Los sistemas de diluvio deben emplear boquillas no automáticas (abiertas), adosadas a una red de tuberías conectada al(los) suministro(s) de fluido a través de una válvula controlada por un sistema de detección independiente, instalado en la misma área</p>

	que las boquillas de nebulización.
	7.4.1.2 Cuando se activa(n) la(s) válvula(s) el líquido debe fluir hacia el interior de la red de tuberías y descargarse a través de las boquillas adosadas a la red.
7.4.2 Sistemas de tubería húmeda	Los sistemas de tubería húmeda deben emplear boquillas automáticas adosadas a una red de tuberías presurizada, con agua hasta las boquillas.
7.4.3 Sistemas de acción previa	<p>7.4.3.1 Los sistemas de acción previa deben emplear boquillas automáticas adosadas a una red de tuberías que contiene un gas presurizado con un sistema de detección suplementario, independiente, instalado en la misma área que las boquillas.</p> <p>7.4.3.2 El funcionamiento del sistema de detección debe activar un dispositivo de disparo que abra la válvula, presurizando la red de tuberías, con agua hasta las boquillas.</p> <p>7.4.3.3 En todos los sistemas de acción previa, la tubería presurizada se debe supervisar para garantizar la integridad del sistema.</p>
7.4.4 Sistemas de tubería seca	<p>7.4.4.1 Los sistemas de tubería seca deben emplear boquillas automáticas adosadas a una red de tuberías, que contenga un gas presurizado.</p> <p>7.4.4.2 La pérdida de presión en la red de tuberías debe activar una válvula de control, lo que hace que el agua fluya hacia el interior de la red de tuberías y hacia afuera a través de las boquillas activadas.</p> <p>7.4.4.3 En todos los sistemas de tubería seca, la tubería presurizada se debe supervisar para garantizar la integridad del sistema.</p>
7.5 Tipos de medios del sistema	<p>Los sistemas de agua nebulizada se deben clasificar según los dos tipos de medios:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Fluido único</li> <li>2) Fluido doble</li> </ol>

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 18).

### 4.1.5 NFPA 750 Capítulo 8 Requisitos de instalación

Este capítulo es muy importante, debido a que contiene las indicaciones para que todos los elementos del sistema de agua nebulizada se instalen de acuerdo con el manual de diseño de instalación que genera el proveedor del sistema y que debe tener la aprobación de la autoridad competente. A continuación se mencionan sus principales aspectos.

**Tabla 17. Requisitos de instalación**

Numeral	Descripción
8.1 Generalidades	Este capítulo describe los requisitos para la instalación de los componentes de un sistema de agua nebulizada.
8.1.1 Listado	Los materiales y dispositivos listados deben instalarse de acuerdo con su listado.
8.1.2 Manual de diseño e instalación	Los materiales y dispositivos se deben instalar de acuerdo con el manual de diseño e instalación del sistema del fabricante.
8.1.6 Sistemas de protección de ocupaciones	<p>8.1.6.1 Espaciamiento y ubicación de las boquillas automáticas de agua nebulizada. Los requisitos son los siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Las boquillas de agua nebulizada se deben instalar en todo el edificio u ocupación que se esté protegiendo, excepto en las áreas donde no se permiten, según lo establecido en esta norma o por el listado.</li> <li>2) Las boquillas de agua nebulizada se deben ubicar de manera que su desempeño sea satisfactorio con respecto al momento de activación y al patrón de distribución.</li> <li>3) Cuando las boquillas sean específicamente probadas y las pruebas demuestren que las desviaciones de los requisitos de espacio libre para obstrucciones no afectan la capacidad del sistema de controlar o suprimir un incendio, debe permitirse posicionar y ubicar las boquillas de acuerdo con estos resultados.</li> <li>4) Las boquillas se deben ubicar de manera que no excedan los criterios de espaciamiento especificados por el fabricante en el manual de diseño, instalación y funcionamiento del sistema.</li> </ol>
6.1.6.2 Limitaciones del área de protección del sistema	<p>El área máxima de un piso que se va a proteger con agua nebulizada suministrada por cualquier montante de este sistema o por un montante de un sistema combinado debe ser la siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Riesgo leve: 4831 m<sup>2</sup> (52,000 pies<sup>2</sup>).</li> <li>(2) Riesgo ordinario: 4831 m<sup>2</sup> (52,000 pies<sup>2</sup>).</li> </ol>

**Tabla 17 (continuación)**

Numeral	Descripción
---------	-------------

8.2 Boquillas	8.2.1 Generalidades	Las boquillas se deben instalar de acuerdo con el listado del fabricante.
	8.2.2 Limitaciones en la altura de las boquillas	Las alturas mínimas y máximas deben estar de acuerdo con el listado del fabricante.
	8.2.3 Limitaciones en el espaciamiento de las boquillas	Las distancias mínimas y máximas entre boquillas deben estar de acuerdo con el listado del fabricante.
	8.2.4 Distancia desde paredes	Las distancias mínimas y máximas desde las boquillas hasta las paredes o tabiques deben estar de acuerdo con el listado del fabricante.
	8.2.5 Obstrucciones en la descarga de las boquillas	La ubicación de las boquillas con respecto a las obstrucciones continuas o discontinuas debe estar de acuerdo con el listado del fabricante.
	8.2.6 Distancia debajo de cielorrasos	La distancia entre la boquilla y el cielorraso debe estar de acuerdo con el rango (mínimo y máximo) identificado en el listado del fabricante.
	8.2.7 Espaciamiento debajo de superficies inclinadas o curvas	La distancia entre boquillas en o debajo de una superficie inclinada o curva debe estar de acuerdo con el listado del fabricante.
8.3 Tuberías y tubos	8.3.1 Manual de instalación	Las tuberías y tubos de los sistemas de agua nebulizada deben instalarse de acuerdo con el manual de instalación del fabricante.
	8.3.2 Normas de instalación	Todas las tuberías, tubos de agua y medios de atomización para sistemas de agua nebulizada se deben instalar de acuerdo con una de las siguientes normas: (1) ASME B31.1, Power Piping Code. (2) EN-13480-3, Metallic Industrial Piping. (3) NFPA 13, Norma para la instalación de sistemas de rociadores, solamente para tuberías de agua en sistemas de presión baja. (4) Las tuberías instaladas de acuerdo con su listado, en el que los criterios del listado sean diferentes a los establecidos en ASME B31.1, Power Piping Code, o EN-13480-3, Metallic Industrial Piping.
8.3.4 Soportes de tuberías	8.3.4.1	Las tuberías del sistema deben estar sostenidas por elementos estructurales que sean independientes del revestimiento del cielorraso para evitar el movimiento lateral y horizontal ante la activación del sistema.
	8.3.4.2	Los soportes colgantes de los tubos deben estar espaciados de acuerdo con la Tabla 8.3.4.2.

**Tabla 17 (continuación)**

Numeral	Descripción
---------	-------------

8.3.5 Drenaje del sistema	Todas las tuberías y accesorios del sistema se deben instalar de manera que todo el sistema limpie tubería.
8.3.6 Ubicación de los soportes colgantes y otros soportes.	8.3.6.1 Los soportes colgantes y otros soportes se deben ubicar de acuerdo con los requisitos incluidos en el manual de diseño del sistema.
	8.3.6.2 Para sistemas intermedios y de presión baja, las tuberías de acero y los tubos de cobre deben estar sostenidos de acuerdo con NFPA 13, norma para la instalación de sistemas de rociadores.
	8.3.6.3 La longitud de un brazo no sostenido que se extienda por encima hacia una boquilla no debe exceder de 0.6 m (2 pies) para tuberías de acero o de 0.3 m (1 pies) para tubos de acero.
8.4 Accesorios	8.4.1 Listado Todos los accesorios del sistema se deben instalar de acuerdo con el listado del fabricante.
	8.4.2 Sistemas de presión baja Además de los requisitos de 8.4.1, todos los accesorios instalados en sistemas de agua nebulizada de presión baja deben cumplir con NFPA 13, norma para la instalación de sistemas de rociadores.
8.5 Contenedores de almacenamiento de gas y agua	8.5.1 Listado Los contenedores de almacenamiento se deben instalar, montar y asegurar de acuerdo con el listado del fabricante.
	8.5.2 Accesibilidad Los contenedores de almacenamiento y sus accesorios se deben instalar de manera que se simplifiquen la inspección, prueba, recarga y otras operaciones de mantenimiento, y para que la interrupción de la protección se reduzca al mínimo.
	8.5.3 Ubicación Los contenedores de almacenamiento se deben ubicar tan cerca como sea posible del riesgo o dentro de las condiciones de riesgo que protegen, no deben estar expuestos a daños mecánicos o por incendios que afecten su desempeño.
	8.5.4 Daños Los contenedores para almacenamiento deben estar protegidos contra condiciones climáticas adversas y contra daños mecánicos, químicos u otros.
8.6 Bombas y controladores de bombas	8.6.1 Dimensionamiento Las bombas se deben dimensionar de manera que cumplan con la tasa de flujo de agua del sistema requerida, a la mínima presión del sistema, según lo determinen los cálculos hidráulicos.
	8.6.2 Arranque automático Las bombas deben arrancar automáticamente y abastecer al sistema de agua nebulizada hasta que sean apagadas de manera manual o automática, de acuerdo con el listado del fabricante.

**Tabla 17 (continuación)**

Numeral		Descripción
	8.6.3 Servicio de supervisión	A menos que se cumplan los requisitos de 8.6.4, deben proveerse bombas con servicio de supervisión desde una estación central o una estación remota de la propiedad, listados o equivalentes.
	8.6.4 Viviendas unifamiliares	Los requisitos de 8.6.3 no deben aplicarse a las bombas para viviendas unifamiliares.
8.7 Tamices y filtros	8.7.1 Ubicación	Deben proveerse tamices y filtros en todas las conexiones de suministro de agua, de acuerdo con el Capítulo 12.
	8.7.2 Instalación	Deben instalarse filtros y tamices para minimizar la potencial pérdida de presión debido a la acumulación de partículas.
8.9 Sistemas eléctricos.	8.9.1 Equipos eléctricos.	8.9.1.1 Los equipos eléctricos asociados con los sistemas de agua nebulizada se deben instalar de acuerdo con los requisitos de NFPA 70, Código Eléctrico Nacional.
		8.9.1.2* Todos los circuitos y el cableado de los sistemas de señalización se deben instalar de acuerdo con NFPA 72, Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización. 8.9.1.3* Todos los circuitos y el cableado de la línea de señalización se deben instalar de acuerdo con NFPA 72, Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización, Estilo 6.

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, pp. 18-27).

**Tabla 18. Tabla 8.3.4.2 Espaciamento máximo de los soportes colgantes de tubos**

Diámetro exterior (O.D.) del tubo		Distancia máxima entre soportes colgantes	
mm	pulg	m	pies
6–14	¼, 3/8, ½	1.21	4.0
15–22	¾–7/8	1.52	5.0
23–28	1	1.82	6.0
30–38	1¼–1½	2.12	7.0
40–49		2.42	8.0
50–59		3.00	10.0
60–70		3.33	11.0
71–89		3.64	12.0
90–108		3.94	13.0

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 24).

#### 4.1.6 NFPA 750 Capítulo 11 Cálculos

A diferencia del sistema de rociadores automáticos, en el que los rociadores convencionales se diseñan a partir de un anillo y por medio de programas listados y aprobados por autoridades competentes, los sistemas de agua nebulizada se fabrican utilizando el diseño convencional por medio de Darcy–Weisbach o Hazen–Williams. A renglón seguido se relacionan las fórmulas y aspectos primordiales de los cálculos expuestos en la NFPA 750.

**Tabla 19. Cálculos**

Numeral	Descripción
11.1 Generalidades	<p>Los procedimientos para calcular el flujo de un sistema de agua nebulizada deben estar de acuerdo con uno de los siguientes ítems, según corresponda:</p> <p>1) Los cálculos hidráulicos se deben hacer empleando el método descrito en la Sección 11.2.</p> <p>2) Los cálculos hidráulicos para sistemas sin aditivos y con una presión de trabajo que no exceda 12 bar (175 psi) se pueden hacer utilizando el método descrito en la Sección 11.2 o el que se menciona en la Sección 11.3.</p> <p>3) Los cálculos para las tuberías que transportan medios de atomización en sistemas de fluido doble se deben hacer de acuerdo con la Sección 11.4.</p> <hr/> <p>11.1.1 Procedimientos para el cálculo del flujo</p> <p>11.1.2 Requisitos de la demanda mínima de agua para sistemas de agua nebulizada</p> <p>Se desarrollan por medio ingeniería y se deben determinar mediante la suma de las demandas de agua simultáneas, si hubiera, a la tasa de descarga y a la presión operativa del sistema, se deben determinar de acuerdo con los cálculos hidráulicos efectuados conforme a lo escrito en este capítulo.</p>
11.2 Método de cálculo de Darcy–Weisbach para sistemas de presión intermedia y alta, de fluido único y de fase líquida única.	<p>11.2.1 Las pérdidas por fricción de la tubería se deben determinar mediante uno de los siguientes métodos:</p> <p>1) Aplicando las fórmulas de la Tabla 11.2.1.</p> <p>2) Permitiendo que los cálculos hidráulicos se hagan aplicando el método de cálculo de Hazen–Williams para sistemas de presión intermedia y alta, con un tamaño de tubería mínimo de 20 mm (¾ pulg.), siempre que la velocidad de flujo máxima en la tubería del sistema no exceda de 7.6 m/s (25 pies/s).</p> <p>11.2.2 Debe usarse el diagrama de Moody de la Figura 11.2.2 para determinar el valor del factor de fricción, <math>f</math>, en la ecuación de Darcy–Weisbach, en la que el número de Reynolds y la rugosidad relativa se calculan como se muestra en la Tabla 11.2.1, aplicando los coeficientes especificados en la tablas 11.2.2(a) y 11.2.2(b).</p>

**Tabla 19 (continuación)**

Numeral	Descripción
---------	-------------

11.3 Método de cálculo de Hazen–Williams (sistemas de presión baja).	11.3.1 Límites de la presión de trabajo y aditivos	Los cálculos hidráulicos para los sistemas de agua nebulizada con presiones de trabajo que no excedan de 12 bar (175 psi) y no tengan aditivos se pueden hacer aplicando el método de cálculo de Hazen–Williams.
		Las pérdidas por fricción para tuberías llenas de agua se deben determinar a partir de la fórmula de Hazen–Williams, de la siguiente manera:
		1) Para unidades SI:
		$P_m = 6.05 \frac{Q_m^{1.85}}{C^{1.85} d_m^{4.87}} \times 10^5$
		donde:
		P <sub>m</sub> = resistencia friccional (bar/m de la tubería)
		Q <sub>m</sub> = flujo (L/min)
		d <sub>m</sub> = diámetro interior real de la tubería (mm)
		C = coeficiente de pérdida por fricción
	11.3.2 Fórmula de la pérdida por fricción	2) Para unidades del sistema de uso habitual en los Estados Unidos:
		$P_f = \frac{4.52Q^{1.85}}{C^{1.85} d^{4.87}}$
		donde:
		P <sub>f</sub> = resistencia friccional (psi/pies de la tubería)
		Q = flujo (gpm)
		d = diámetro interior real de la tubería (pulg)
		C = coeficiente de pérdida por fricción
		La presión de velocidad para tuberías llenas de agua se debe determinar con base en la siguiente fórmula:
		1) Para unidades SI:
		$P_v = 5.61(10)^{-7} \frac{Q^2}{D^4}$
		donde:
		P <sub>v</sub> = presión de velocidad (bar)
		Q = flujo (L/min)
		D = diámetro interior (mm)
	11.3.3 Fórmula de la presión de velocidad	2) Para unidades del sistema de uso habitual en los Estados Unidos:
		$P_v = \frac{0.001123Q^2}{D^4}$
		donde:
		P <sub>v</sub> = presión de velocidad (psi)

**Tabla 19 (continuación)**

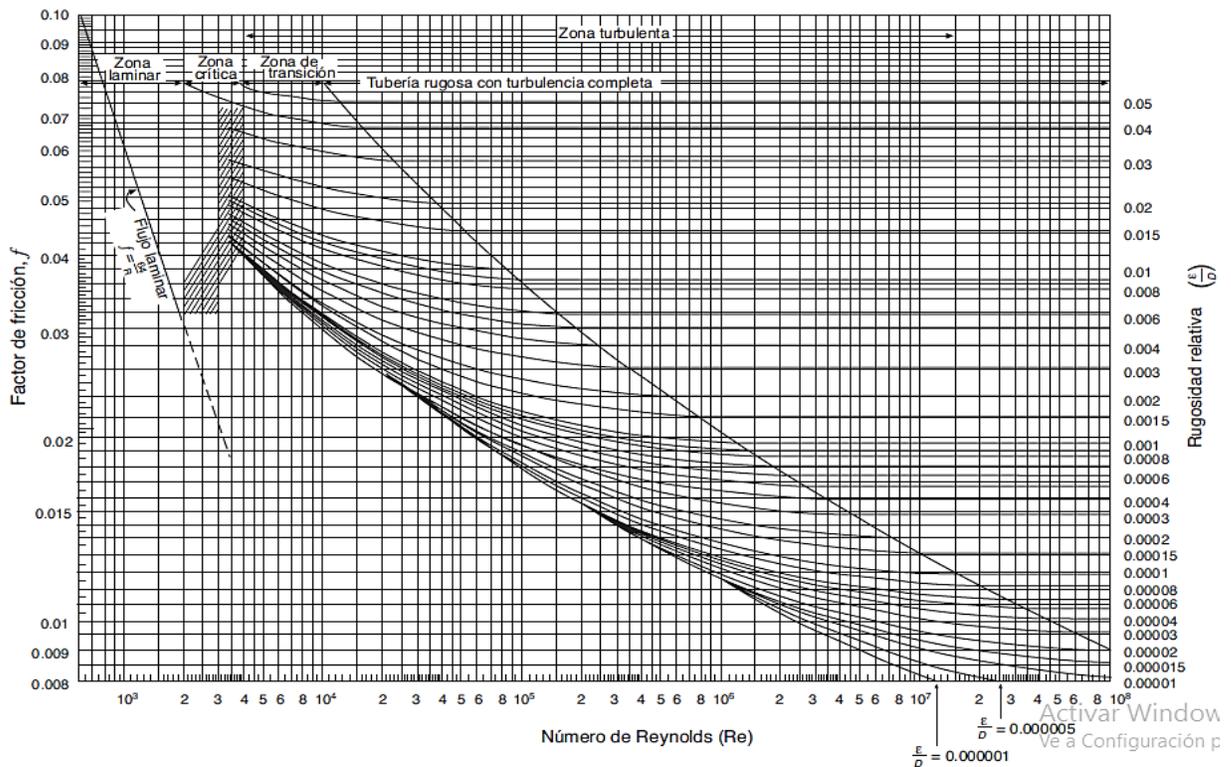
Numeral	Descripción																
11.3.4 Fórmula de la presión normal	<p>Q = flujo (gpm)  D = diámetro interior (pulg)  La presión normal, P<sub>n</sub>, se debe determinar con base en la siguiente fórmula:</p> $P_n = P_i - P_v$ <p>donde:  P<sub>n</sub> = presión normal [bar (psi)]  P<sub>t</sub> = presión total [bar (psi)]  P<sub>v</sub> = presión de velocidad [bar (psi)]</p>																
11.3.6.4 Valores del factor C.	<p>11.3.6.4.1 Debe emplearse la Tabla 11.3.6.1 con la fórmula de Hazen–Williams solamente donde C = 150.  11.3.6.4.2 Para valores de C diferentes de C = 150, los valores de la Tabla 11.3.6.1 se deben multiplicar por los factores de la Tabla 11.3.6.4.2.</p> <p style="text-align: center;"><b>Tabla 11.3.6.4.2 Multiplicador del valor C</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="border-top: 3px double black; border-bottom: 1px solid black;">Valor de C</th> <th style="border-top: 3px double black; border-bottom: 1px solid black;">100</th> <th style="border-top: 3px double black; border-bottom: 1px solid black;">120</th> <th style="border-top: 3px double black; border-bottom: 1px solid black;">130</th> <th style="border-top: 3px double black; border-bottom: 1px solid black;">140</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Factor de multiplicación</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">0.472</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">0.662</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">0.767</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">0.880</td> </tr> </tbody> </table> <p>Nota: El factor de multiplicación se basa en que la pérdida por fricción en el accesorio sea independiente del factor C disponible para la tubería.</p> <p>11.3.6.5 La pérdida por fricción de la tubería se debe calcular de acuerdo con los valores C de la fórmula de Hazen–Williams de la Tabla 11.3.6.5.</p> <p style="text-align: center;"><b>Tabla 11.3.6.5 Valores C de Hazen–Williams</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="border-top: 3px double black; border-bottom: 1px solid black;">Tubería o tubo</th> <th style="border-top: 3px double black; border-bottom: 1px solid black;">Valor C*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">De plástico (listado según 5.3.2 o 5.3.4.4) — todos los tipos</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">150</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 3px double black;">Tubo de cobre o acero inoxidable</td> <td style="border-bottom: 3px double black;">150</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Se permite que la autoridad competente considere otros valores C.</p>	Valor de C	100	120	130	140	Factor de multiplicación	0.472	0.662	0.767	0.880	Tubería o tubo	Valor C*	De plástico (listado según 5.3.2 o 5.3.4.4) — todos los tipos	150	Tubo de cobre o acero inoxidable	150
Valor de C	100	120	130	140													
Factor de multiplicación	0.472	0.662	0.767	0.880													
Tubería o tubo	Valor C*																
De plástico (listado según 5.3.2 o 5.3.4.4) — todos los tipos	150																
Tubo de cobre o acero inoxidable	150																

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 34).

**Tabla 20. Tabla 11.2.1 Ecuaciones de Darcy–Weisbach y asociadas para la pérdida de presión en sistemas de presión intermedia y alta**

	Unidades SI	Unidades del sistema de uso habitual en los Estados Unidos
<b>Ecuación de Darcy–Weisbach</b>	$\Delta p_m = 2.252 \frac{fL\rho Q^2}{d^5}$	$\Delta p = 0.000216 \frac{fL\rho Q^2}{d^5}$
<b>Número de Reynolds</b>	$Re = 21.22 \frac{Q\rho}{d\mu}$	$Re = 50.6 \frac{Q\rho}{d\mu}$
<b>Rugosidad relativa</b>	Rugosidad relativa = $\frac{\epsilon}{d}$ donde: $\Delta p_m$ = pérdida por fricción (bar gauge) L = longitud de tubería (m) f = factor de fricción (bar/m) Q = flujo (L/min) d = diámetro interior de la tubería (mm) $\epsilon$ = rugosidad de la pared de la tubería (mm) $\rho$ = peso densidad de fluido (kg/m <sup>3</sup> ) $\mu$ = viscosidad absoluta (dinámica) [centipoise (cP)]	Rugosidad relativa = $\frac{\epsilon}{D}$ donde: $\Delta p$ = pérdida por fricción (psi gauge) L = longitud de tubería (pies) f = factor de fricción (psi/pies) Q = flujo (gpm) d = diámetro interior de la tubería (pulg) D = diámetro interior de la tubería (pies) $\epsilon$ = rugosidad de la pared de la tubería (pies) $\rho$ = peso densidad de fluido (lb/pies <sup>3</sup> ) $\mu$ = viscosidad absoluta (dinámica) [centipoise (cP)]

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 34).



**Figura 5. Figura 11.2.2 Diagrama de Moody.**

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 35).

**Tabla 21. Tabla 11.2.2(a) Valores recomendados de rugosidad absoluta o altura efectiva de las irregularidades de las paredes de las tuberías, para uso en la ecuación de Darcy–Weisbach**

Material de la tubería	Valor de diseño de $\epsilon$		H-W equivalente (factor C)
	mm	pies	
Cobre, cobre níquel	0.0015	0.000 005	150
Tubo de acero inoxidable estirado (asignado por el fabricante)	0.0009	0.000 003	160
Tubería de acero inoxidable (= tubería de hierro forjado)	0.0451	0.00015	140

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 35).

**Tabla 22. Tabla 11.2.2(b) Valores aproximados de  $\mu$ , viscosidad absoluta (dinámica) y para agua limpia, en el rango de temperatura de 4.4 a 37.8 °C (40 a 100 °F)**

Temperatura		Peso densidad del agua		Viscosidad absoluta (dinámica), $\mu$ centipoise)
°C	°F	kg/m <sup>3</sup>	lb/ft <sup>3</sup>	
4.4	40	999.9	62.42	1.5
10.0	50	999.7	62.38	1.3
15.6	60	998.8	62.34	1.1
21.1	70	998.0	62.27	0.95
26.7	80	996.6	62.19	0.85
32.2	90	995.4	62.11	0.74
37.8	100	993.6	62.00	0.66

Fuente: National Fire Protection Association NFPA (2015, p. 35).

## 5. Tecnologías con agua nebulizada

### 5.1 Tipología de las redes de agua nebulizada, tecnología HI-FOG

#### 5.1.1 Criterios de riesgos según las autoridades europeas (ET CEN 14972) y norteamericanas (NFPA)

Las autoridades europeas, específicamente la ET CEN 14972, clasifican los riesgos de la siguiente manera:

**Riesgo leve o ligero:** ciertas áreas en escuelas, oficinas y cárceles.

**Riesgo ordinario 1 OH1:** hospitales, hoteles, bibliotecas, restaurantes, escuelas, oficinas y fábricas de concreto.

**Riesgo ordinario 2 OH2:** museos, lavanderías, aparcamientos, fábricas, fábricas de cerveza y de metales.

**Riesgo ordinario 3 OH3:** Fábricas de papel, de cables, de plástico, de electrónica y molinos.

**Riesgo ordinario 4 OH4:** teatros, salas de conciertos, fábricas de cigarrillos y de fósforos (Asociación Española de Normalización, UNE, 2014).

Por otro lado, la NFPA 13 clasifica y define las ocupaciones de la manera siguiente:

**Riesgo leve o ligero:** iglesias; clubes; instituciones de educación (salones de clases); hospitales, incluidos los de animales y las instalaciones veterinarias; centros penitenciarios y de atención psiquiátrica; librerías, excepto salones con grandes estanterías; museos; asilos y hogares de convalecencia; oficinas, incluyendo procesamiento de datos; residencias; áreas de sillas en restaurantes; teatros y auditorios; excluyendo escenarios y prosenios; áticos no usados (National Fire Protection Association NFPA, 2018).

**Riesgo ordinario 1 OH1:** salas de exhibición y estacionamiento de automóviles, panaderías, fábricas de bebidas o de conservas, manufactura y procesamiento de productos lácteos, plantas

de electrónica, manufactura de vidrio y productos de vidrio, lavanderías, áreas de servicio de restaurantes, cuartos de mecánica (National Fire Protection Association NFPA, 2018).

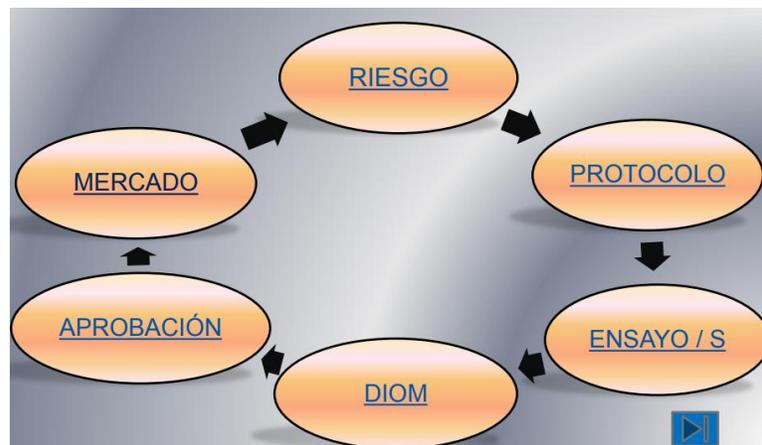
**Riesgo ordinario 2 OH2:** instalaciones agrícolas, graneros y establos, molinos de cereales, plantas químicas (ordinarias), productos de confitería, destilerías, tintorerías al seco, molinos de alimentos, establos de caballos, manufacturas de bienes de piel, librerías (salones de grandes estanterías), tiendas de maquinaria, trabajos en metales, centros mercantiles, molinos de pulpa y papel, plantas de proceso de papel, muelles y embarcaderos, fabricación de plásticos (incluyendo moldeado por soplado), extrusión y mecanizado (excluyendo las operaciones con fluidos hidráulicos combustibles), oficinas postales, imprentas y artes gráficas, garajes de reparación de autos, áreas de aplicación de resina, escenarios, manufacturas textiles, fábricas de cauchos, manufacturas de productos de tabaco, maquinado de madera, ensamblaje de productos de madera (National Fire Protection Association NFPA, 2018).

**Riesgo extra Grupo 1:** hangares de avión (excepto los regidos por la NFPA 409), áreas de uso de fluido hidráulico combustible, fundiciones, extrusión de metales, manufactura de tablas de aglomerado y contrachapado, imprentas (que usan tintas con punto de inflamación menor a 38 °C), recuperación, composición, secado, molido y vulcanizado de cauchos, aserraderos, selección, apertura, mezclado, peinado o cardado de textiles, combinación de algodón, fibras sintéticas, lana o estopa, tapizado con goma espuma (National Fire Protection Association NFPA, 2018).

**Riesgo extra Grupo 2:** saturación de asfalto, pulverización de líquidos inflamables, revestimiento con líquido, templado con aceite en tina abierta, procesamiento de plásticos, limpieza con solventes, barnizado y pintado por inmersión, sistemas de elevación y estacionamiento con dos vehículos apilados verticalmente (National Fire Protection Association NFPA, 2018). Es importante mencionar que el riesgo ordinario 2 (OH2) de las normas europeas, en las normas de los Estados Unidos se interpreta como riesgo ordinario 1 (OH1), esta aclaración se hace debido a que la tecnología de HI-FOG es europea y unas de sus aprobaciones para parqueaderos es mostrada como riesgo ordinario 2 (OH2), para el presente trabajo se toman como referencia los riesgos norteamericanos y los aparcamientos son riesgos ordinarios 1 (OH1).

### 5.1.2 Aprobaciones de las tecnologías HI-FOG según los riesgos de las autoridades

Después de la clasificación de los riesgos en Europa y en Norteamérica, a continuación se muestran las diferentes aprobaciones que tiene la tecnología HI-FOG, según el riesgo expuesto (figura 6).



**Figura 6. Tipos de aprobaciones para la tecnología HI-FOG, según el riesgo expuesto.**

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la figura 6, la tecnología HI-FOG define un riesgo que se clasifica para establecer un protocolo y un ensayo que sólo las autoridades competentes pueden aprobar, luego de lo cual se genera el DIOM y se aprueba su salida al mercado.

El DIOM es un manual que proporciona las especificaciones para el diseño, instalación, operación y mantenimiento del sistema aprobado. Esta información es para uso de personal adecuadamente calificado, con experiencia en sistemas fijos de protección contra incendios, capacitados y certificados por la empresa Marioff, compañía líder global e innovadora en la tecnología de protección contra incendios de agua nebulizada a alta presión, que diseña, desarrolla, fabrica, instala y mantiene HI-FOG, soluciones que mejoran la seguridad contra incendios en los edificios, aplicaciones industriales, entre otros (Marioff Corporation, 2019).

A continuación se relacionan los diversos sistemas de ingeniería y DIOM aprobados para los riesgos de la tecnología HI-FOG.

#### ***5.1.2.1 Sistema MAU (unidades acumulador para espacio de maquinaria)***

Este sistema abarca única y exclusivamente la protección de riesgos cerrados y riesgos especiales. Entre los primeros se encuentran las turbinas de gas y los espacios de maquinaria con volúmenes que no sobrepasan los 260 m<sup>3</sup>, incluyendo cajas de turbinas de gas, espacios que albergan motores diésel, transformadores, bombas de combustible y aceite, tanques de aceite, filtros de combustible, generadores, engranajes, cajas, ejes de transmisión, patines de aceite lubricante, etc. En los espacios especiales se encuentra lo que tiene que ver con maquinaria (celdas de prueba de motores, tiendas de pintura, etc.) (Marioff Corporation , 2014).

#### ***5.1.2.2 Sistema GPU (unidad de bomba a gas)***

Este sistema comprende los riesgos leves (HC-1) de las ocupaciones que no sean de almacenamiento como edificaciones residenciales, oficinas, salas de reuniones, hoteles, museos (áreas de exhibición), áreas de estar en restaurantes, instituciones, escuelas, centros de procesamiento de datos (excepto los centros con almacenamiento abierto de medios en racks), hospitales, iglesias y otros espacios similares con respecto al riesgo de incendio, según lo determine la FM Global (Marioff Corporation , 2014).

#### ***5.1.2.3 Sistema MSPU (unidades modulares de bombas para splinkers)***

Este sistema comprende los riesgos leve (HC-1) y ordinario 1 (OH-1). Cabe aclarar que para el riesgo europeo de parqueaderos (OH-2) se aplica el sistema MSPU como riesgo ordinario 1 (OH-1) en América. Las aplicaciones HC-1, riesgo leve, incluyen ocupaciones residenciales, oficinas, salas de reuniones, hoteles, museos (áreas de exhibición), áreas de estar en restaurantes, instituciones, escuelas, centros de procesamiento de datos (excepto los centros con almacenamiento abierto de medios en racks), hospitales, iglesias y otros espacios similares con respecto al riesgo de incendio, según lo determine la FM Global (Marioff Corporation , 2017).

Las aplicaciones OH-1, riesgo ordinario 1, incluyen lavanderías, áreas de servicio de restaurantes, aparcamiento de automóviles y salas de exposición, panaderías, fábricas de bebidas, enlatadoras, fábricas de manufacturas y procesamiento de productos lácteos, plantas electrónicas, fábricas de vidrio y sus productos, es decir, en los sitios en los que la capacidad de combustión es baja, la cantidad de combustibles es moderada, las reservas de combustibles no exceden los 2.4 m y se esperan incendios con tasas moderadas de liberación de calor (Marioff Corporation , 2017).

## **5.2 Sistema MAU (unidades acumulador para espacio de maquinaria)**

### **5.2.1 Generalidades del sistema**

El sistema de distribución de agua nebulizada HI-FOG (MAU) es del tipo de fluido doble, que emplea agua corriente como agente de extinción y nitrógeno o aire comprimido como atomizador. Es un sistema de diluvio que se acciona por una válvula de preacción. Su rendimiento se rige por el efecto combinado de la pulverización y el vapor de agua (Marioff Corporation , 2014), los mecanismos de lucha son los siguientes:

Enfriamiento por evaporación y humedecimiento por gotas de agua nebulizada

Desplazamiento del oxígeno por vapor de agua o nitrógeno

Bloqueo del calor radiante por gotas de agua nebulizada

### 5.2.2 Operación del sistema

El sistema se alimenta a través de un cilindro de gas presurizado, para su funcionamiento no requiere energía eléctrica; sin embargo, se puede aplicar esta energía para controlar, monitorear y señalar el rendimiento del sistema, siempre y cuando el cliente lo exija. Los sistemas HI-FOG (MAU) tienen los siguientes componentes: unidad de cilindro de agua y gas, rociadores para la descarga de agua nebulizada y tubería de acero inoxidable (Marioff Corporation , 2014).

Así mismo, el sistema se puede activar por medio de una válvula del actuador en el cilindro de gas o de forma automática desde una señal eléctrica, con entrada al accionador solenoide o una entrada neumática a la válvula del accionador.

### 5.2.3 Unidad de cilindro de agua y gas

La unidad acumuladora consiste en un grupo de cilindros de agua montados sobre patines, totalmente interconectados y alimentados por un cilindro de gas presurizado. Cada disposición del sistema se configura con una capacidad nominal de 50 litros [13 gal] (mínimo 47 litros [12 galones]) de cilindros de agua para proporcionar el requerimiento total. Los cilindros se interconectan tanto para las vías de gas como las de agua. Cada grupo requiere una presión de gas diferente (Marioff Corporation , 2014). Las configuraciones estándar de los cilindros de agua / gas son las siguientes:

**Tabla 23. Configuraciones estándar de los cilindros de agua / gas sistema MAU**

Unit ID	Water cylinders	Gas cylinders
MAU 50	1 x 50 liter [13 gal]	1 x 20 liter [5 gal]
MAU 100	2 x 50 liter [13 gal]	1 x 50 liter [13 gal]
MAU 150]	3 x 50 liter [13 gal]	1 x 50 liter [13 gal]

Fuente: Marioff Corporation (2014, p. 11).

Por otra parte, las unidades de gas de capacidad nominal mínima de 49 litros deben tener presiones de almacenamiento nominales en el rango de 155 - 200 bar (15 °C), [2250 - 2900 psi (59 °F)]. La presión de operación del gas propuesta debe identificarse en el momento del montaje del sistema (Marioff Corporation , 2014). Adicionalmente, el diámetro exterior de los cilindros

no debe exceder de 245 mm [9.65 in] y su altura debe estar entre 1390 y 1525 mm [4.56 - 5 pies] para que quepa en los racks o cuartos pequeños (Marioff Corporation , 2014).

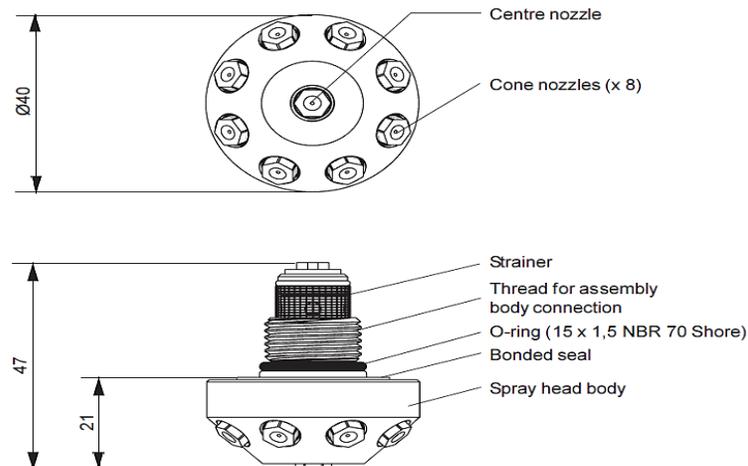
### 5.2.4 Rociadores para la descarga de agua nebulizada

El manual de un sistema MAU sólo permite utilizar el siguiente rociador:

**Tabla 24. Cabezal de pulverización HI-FOG**

Type	K factor		Technical Data Sheet
	lpm/bar <sup>1/2</sup>	gpm/psi <sup>1/2</sup>	
4S 1MC 8MB 1100	1.8	0.125	TC0220

Fuente: Marioff Corporation (2014, p. 13).



<b>General</b>	Body material	Stainless steel
	Mass	0,155 kg
	K-factor	3,9 lpm/bar <sup>0.5</sup>
<b>Installation</b>	Location	Ceiling
	Projection	Pendent
	Max. ceiling height*	5 m
	Max. spacing*	5 m
<b>Typical application</b>	Land	Flammable liquid hazards
	Marine	Total protection of machinery spaces

**Figura 7. Ficha técnica Spray Head Type 4S 1MC 8MC 1000.**

Fuente: Marioff Corporation (2004).

### 5.2.5 Tubería de acero inoxidable

El sistema de tuberías tiene una disposición de línea única, sus estándares y accesorios deben cumplir con las recomendaciones de FM Global, hoja de datos de prevención 4-2 (Water Mist Systems) y la edición más reciente de NFPA 750, además debe estar aprobado por el departamento de I + D de Marioff (Marioff Corporation, 2014).

La tubería debe ser de acero inoxidable AISI 304 o 316, resistente a la corrosión, según DIN estándar o igual, asegurando una larga vida útil y agua limpia. Los tamaños y espesores de la tubería estándar utilizados en los sistemas HI-FOG (MAU) son los siguientes:

**Tabla 25. Tamaños y espesores de tubería estándar en los sistemas HI-FOG**

Diameter		Wall thickness	
Mm	In	Mm	in
12	½	1.2	0.05
16	3/8	1.5	0.006

Fuente: Marioff Corporation (2014, p. 14).

### 5.2.6 Parámetros de instalación y dimensión

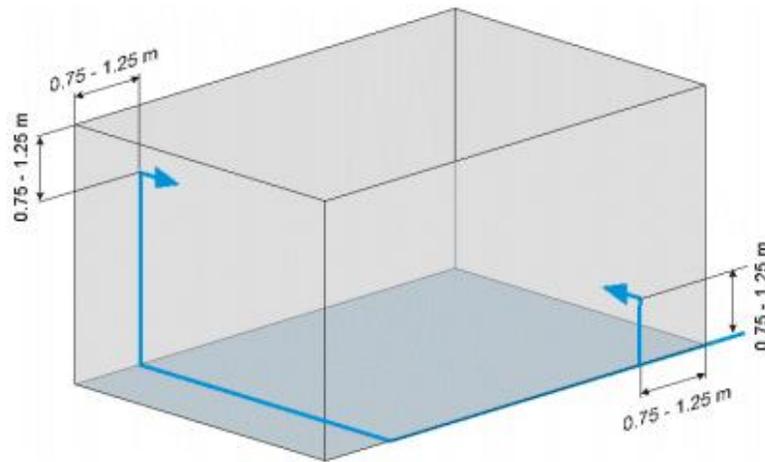
#### 5.2.6.1 Criterios de instalación

Para zonas de turbinas de gas se aplican las siguientes pautas de instalación:

La altura máxima del techo del recinto debe ser 5 m.

Los rociadores deben montarse en la pared de manera que el agua nebulizada se descargue a lo largo de la turbina, en una trayectoria paralela a su línea central. El montaje horizontal de los rociadores debe estar dentro del compartimiento de la turbina, evitando el impacto directo de la descarga de agua a su carcasa (Marioff Corporation, 2014).

Los rociadores se deben instalar en paredes opuestas para generar un flujo circular de agua nebulizada alrededor de la turbina dentro del recinto. Así mismo, se deben colocar a una distancia mínima de 0,75 m y máxima de 1,25 m de todas las paredes perpendiculares a las de los extremos, es decir, paredes laterales, techo y piso (Marioff Corporation , 2014), como se muestra a continuación (figura 8).



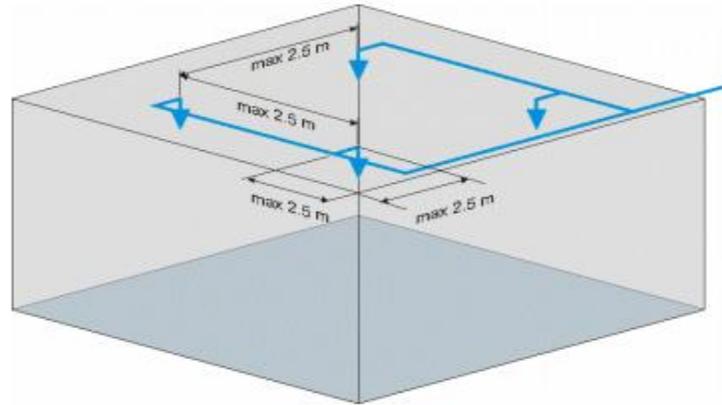
**Figura 8. Espacios entre maquinaria desde las paredes de rociadores en un sistema de distribución de agua nebulizada HI-FOG (MAU).**

Fuente: Marioff Corporation (2014, p. 15).

Para espacios de maquinaria y compartimientos auxiliares se deben aplicar las siguientes pautas de instalación:

La altura máxima del techo del recinto debe ser 5 m.

Los rociadores se deben ubicar al nivel del techo, con una proyección hacia abajo, a una distancia máxima de 2,5 m desde las paredes y 2,5 m entre los rociadores (Marioff Corporation, 2014), como se muestra a continuación (figura 9).



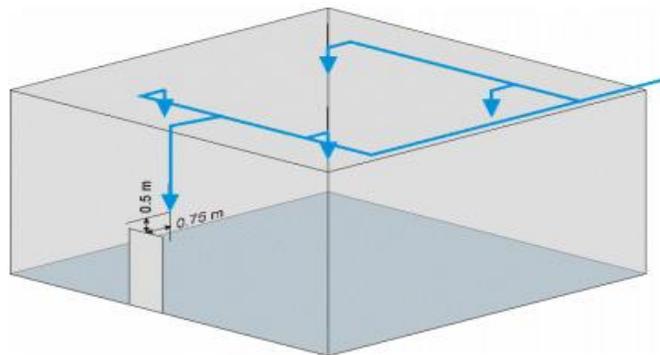
**Figura 9. Espacios entre maquinaria desde el techo de rociadores en un sistema de distribución de agua nebulizada HI-FOG (MAU).**

Fuente: Marioff Corporation (2014, p. 16).

En espacios de maquinaria de peligro especial se aplican las siguientes pautas de instalación:

La altura máxima del techo del recinto debe ser 5 m.

Los rociadores se deben ubicar al nivel del techo, con una proyección hacia abajo, a una distancia máxima de 2,5 m desde las paredes y 2,5 m entre rociadores (Marioff Corporation, 2014) (figura 9). Además, se requiere un rociador adicional encima de cada puerta de servicio / acceso normal (figura 10).



**Figura 10. Espacios de maquinaria de peligro especial en un sistema de distribución de agua nebulizada HI-FOG (MAU).**

Fuente: Marioff Corporation (2014, p. 16).

### 5.2.6.2 Dimensionamiento de la red

El tamaño de la red generalmente se basa en la cantidad de rociadores en el recinto que deben funcionar de manera simultánea durante diez minutos, por lo que el número de rociadores depende del volumen del recinto, como se muestra en la tabla 26.

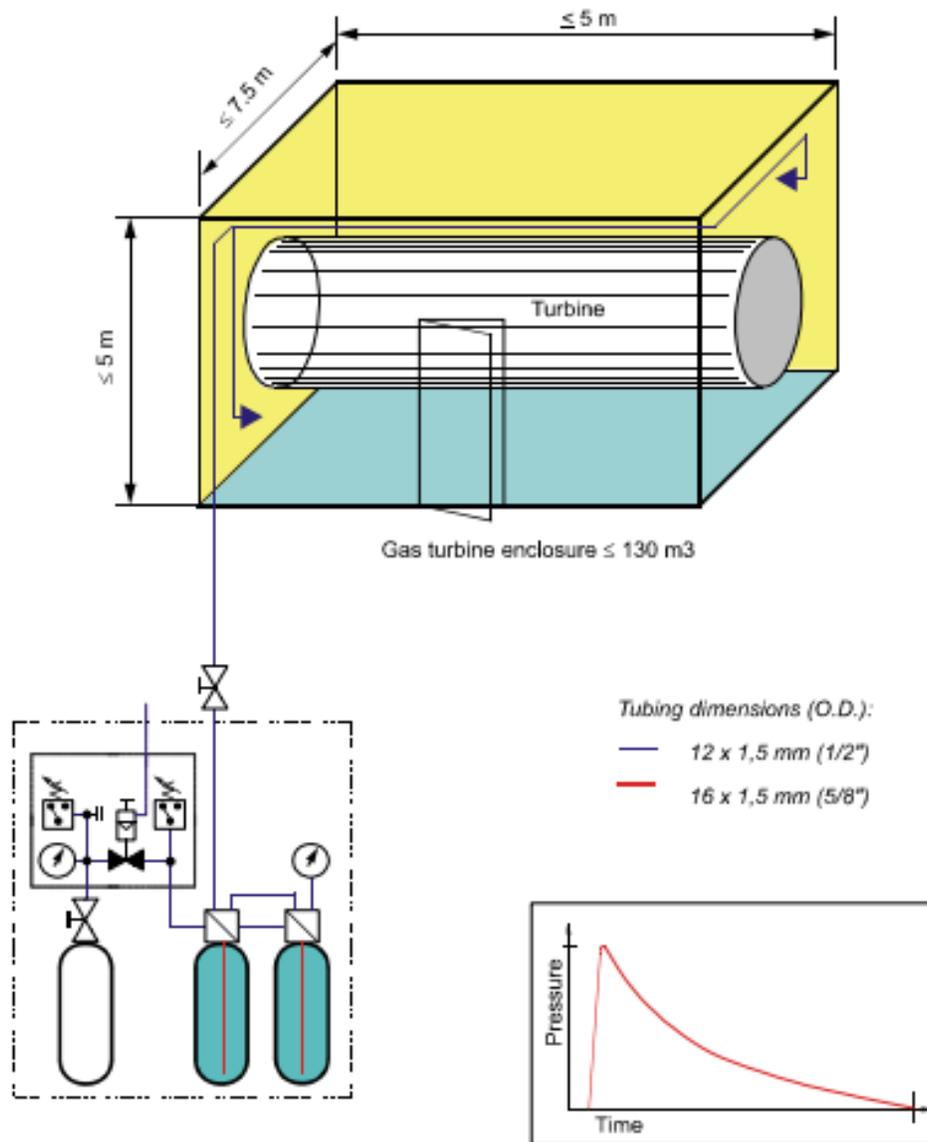
**Tabla 26. Dimensionamiento de la red**

<b>Unit ID</b>	<b>Max number of spray heads</b>	<b>Max protected volume (m<sup>3</sup>)</b>
MAU 50	1	65
MAU 100	2	130
MAU 150	4	260

Fuente: Marioff Corporation (2014, p. 17).

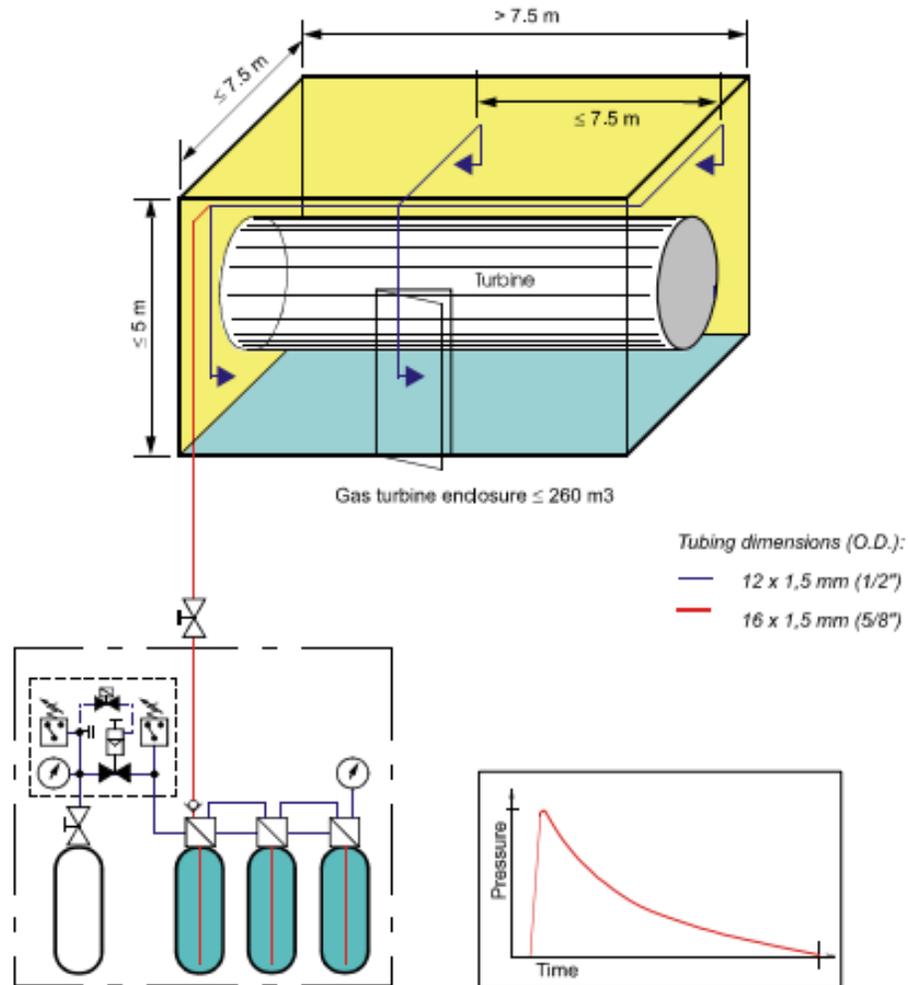
Es importante que la dimensión de las tuberías sólo se permita 20 m de longitud y 12 mm desde la primera T de distribución hasta todos los rociadores y 10 m y 16 mm desde el almacenamiento de agua y gas hasta la primera T de distribución (Marioff Corporation, 2014).

Por otro lado, cuando se utilice MAU 150, la red de descarga debe ser de 16 mm hasta la primera derivación T, después comienza con una tubería de 12 mm hasta cada uno de los rociadores (figura 12). Mientras si se utiliza MAU 100, la red de descarga debe ser de 12 mm a lo largo de la red hasta los rociadores. Para utilizar MAU 50 la red de descarga debe ser de 12 mm a lo largo de la red hasta cada uno de los rociadores (figura 11).



**Figura 11. App 03 – MAU 100 Single Shot – Single Hazard (Turbine).**

Fuente: Marioff Corporation (2014, p. 30). HI-FOG Systems comprise mechanical components and also employ high-pressure gas cylinders for water pressurization.



**Figura 12. App 04 – MAU 150 Single Shot – Single Hazard (Turbine).**

Fuente: Marioff Corporation (2014, p. 30). HI-FOG Systems comprise mechanical components and also employ high-pressure gas cylinders for water pressurization.

### 5.2.6.3 Suministro de agua y filtración del sistema

El sistema se puede abastecer con agua de un suministro público o de un tanque.

El suministro de agua del sistema se debe supervisar en todo momento. La base del tanque de agua debe estar al menos un metro más alta que la entrada de la GPU cuando el sistema está preparado y listo para su activación (Marioff Corporation, 2014). Además, el sistema debe

limpiarse y lavarse adecuadamente antes de conectarlo a la bomba. El nivel de limpieza debe mantenerse en todo momento.

Cada sistema individual está equipado con un filtro de 300  $\mu\text{m}$  para evitar que se transporten partículas en la red de descarga, que puedan obstruir los orificios de los rociadores (Marioff Corporation, 2014).

**Requerimientos del agua:** el agua utilizada en los sistemas HI-FOG debe ser equivalente a un suministro de agua potable y cumplir con las siguientes especificaciones:

Incolora e inodora

No corrosiva

Concentración de cloruro  $<50$  ppm (= 50 mg / l [0.00042 lb / g])

Valor de pH 7.0 - 9.0

Si el pH es  $<7.0$  la alcalinidad debe ser de 1 a 4 mmol / l, el pH nunca debe estar por debajo de 6.5.

Hierro (Fe) y manganeso (Mn); suma  $<0,3$  mg / l

Sin cloro libre (Marioff Corporation, 2014).

**Recomendaciones del agua:** se recomiendan las siguientes especificaciones:

Conductividad  $<400$   $\mu\text{S}$  / cm

Dureza total 1 - 3 mmol / l (5 - 16° dH)

Sólidos en suspensión, TSS  $<10$  mg / l

Sulfato  $<50$  mg / l

TOC  $<2$  mg / l (carbono orgánico total) (Marioff Corporation, 2014).

Por último, en este sistema la cantidad de material orgánico se debe mantener al mínimo y el crecimiento biológico y bacteriano se debe monitorear regularmente, mientras que el agua destilada, desmineralizada, desionizada o de ósmosis inversa no se debe utilizar sin ajuste de la alcalinidad (o valor de pH a  $\sim 8$ ) (Marioff Corporation, 2014).

### **5.3 Sistema GPU (unidad de bomba a gas)**

#### **5.3.1 Generalidades del sistema**

El sistema de distribución de agua nebulizada HI-FOG (GPU) es del tipo de fluido doble, emplea agua corriente como agente de extinción y nitrógeno o aire comprimido como atomizador; además, utiliza dos tipos de rociadores, por un lado rociadores de diluvio que se accionan por una válvula de preacción y rociadores con vulva de temperatura (Marioff Corporation , 2014).

El sistema está diseñado típicamente para que durante 30 minutos 9 boquillas trabajen simultáneamente. Para los sistemas aprobados por la FM, el suministro de agua debe ser capaz de suministrar 60 minutos a las nueve boquillas más lejanas o ubicadas a 140 m<sup>2</sup> [1500 ft<sup>2</sup>] área, lo que sea mayor (Marioff Corporation , 2014).

Este sistema está programado para una aplicación de descarga continua y para suprimir y controlar el fuego por el periodo de tiempo requerido.

#### **5.3.2 Operación del sistema**

Al sistema lo alimentan cilindros de gas a presión. Para su funcionamiento no requiere energía eléctrica; no obstante, la puede requerir para controlar, monitorear y señalar su rendimiento. Estos sistemas pueden ser autónomos o conectarse a un suministro de agua externo (Marioff Corporation , 2014).

El sistema de (GPU) HI-FOG contienen los siguientes componentes:

Una unidad de bomba accionada por gas (GPU), que comprende una bomba mecánica de tipo pistón, completamente interconectada y alimentada por una unidad de cilindro de gas presurizado.

Una unidad de cilindros de agua en la GPU

Rociadores automáticos para la descarga de agua nebulizada.

Tuberías y accesorios de acero inoxidable.

Válvulas de sección.

Un sistema eléctrico de control, monitoreo y señalización (Marioff Corporation , 2014).

En cuanto a la red de distribución en cada área protegida, se puede dividir en secciones, cada una con una válvula independiente. Con el sistema en funcionamiento todas las válvulas deben estar abiertas en las secciones que se van a proteger (Marioff Corporation, 2014).

Por otro lado, en el sistema se presenta una bomba Jocky, que mantiene la presión en 25 bar [350 psi]. La caída de presión en las tuberías abre de manera hidráulica la válvula primaria del cilindro de gas y las válvulas esclavas de otros cilindros, la bomba arranca el monitor de flujo de la válvula de la sección correspondiente, generando una señal de indicación en el panel de control. Tras la activación, el sistema se descarga de forma continua durante la duración de la descarga a través del sistema de distribución de tubos y las boquillas HI-FOG abiertas (Marioff Corporation , 2014).

### **5.3.3 Unidad de bombeo general**

La unidad de bombeo debe almacenarse en el rango de temperatura + 4 °C - 54 ° C [40 - 130 °F]. Esto quizás requiera instalación de calefacción o refrigeración sujetas al entorno en el que se van a instalar (Marioff Corporation , 2014).

La bomba es de tipo pistón con dos cámaras dobles, consta de la bomba principal y de los cilindros de gas y agua. La unidad puede ser un paquete integrado de todos los componentes o unas unidades separadas, que están integradas en el sitio de instalación (Marioff Corporation, 2014).

Para su perfecto funcionamiento los cilindros de gas deben contener como mínimo 49 litros [12.9 gal] nominal, con presiones de almacenamiento nominales en el rango de 170 - 200 bar

[2460 - 2900 psi] (a 15 °C [59 °F]). La presión de operación del gas propuesta debe identificarse en el momento de realizar el montaje del sistema (Marioff Corporation, 2014).

Así mismo, el diámetro exterior de los cilindros no debe exceder de 245 mm [9.65 in] y su altura debe estar entre 1390 y 1525 mm [4.56 - 5 pies] para adaptarse a los racks. Para unir los cilindros de gas se pueden requerir adaptadores de rosca para las mangueras (Marioff Corporation, 2014).

El control remoto continuo de la presión del gas almacenado se proporciona con una presión al interruptor de monitoreo para cada cilindro. Estos interruptores se deben configurar para indicar un 10 % por debajo de la presión nominal de almacenamiento de gas (Marioff Corporation, 2014).

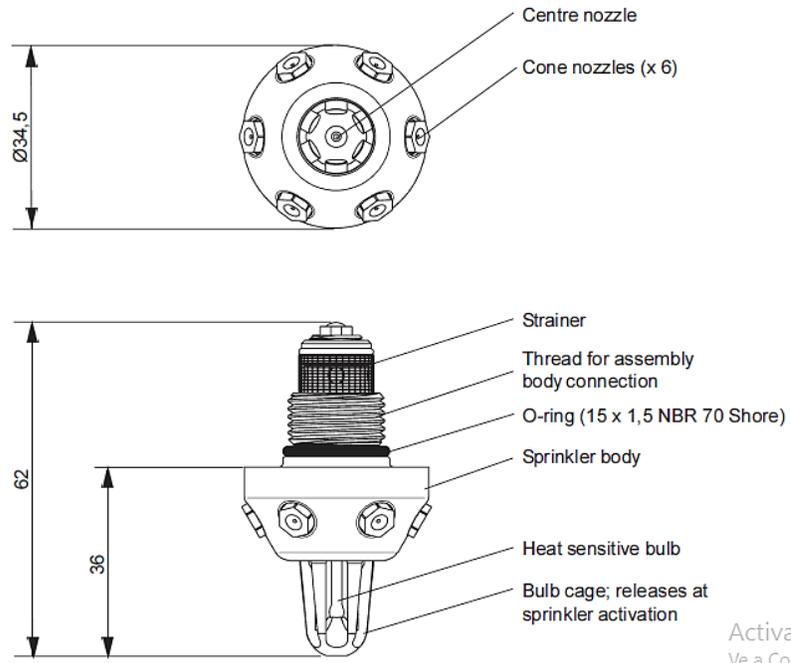
### 5.3.4 Rociadores para la descarga de agua nebulizada

Según el manual del sistema GPU, únicamente se deben utilizar las siguientes boquillas (en su forma estándar los rociadores automáticos están equipados con 57 °C [135 °F], clasificados en bombillas de 2 mm (tabla 27 y figura 13).

**Tabla 27. Especificaciones de las boquillas de los rociadores automáticos en un sistema GPU**

Type	K factor		Technical Data
	lpm/bar <sup>1/2</sup>	gpm/psi <sup>1/2</sup>	Sheet
1N 1MB 6MB 100A	1.45	0.10	<b>TC1105</b>
1N 1MC 6MC 10RA	2.5	0.17	<b>TC1140</b>
1N 1ME 6MF 10RA	6.4	0.44	<b>TC1192</b>

Fuente: Marioff Corporation (2014). Protection of Non-storage Occupancies.



<b>General</b>	Body material	Brass
	Finish	Nickel
	Mass	0,136 kg
	Heat sensitive bulb	57 °C (orange color)
	K-factor	2,5 lpm/bar <sup>0.5</sup>
<b>Installation</b>	Location	Ceiling
	Projection	Pendent
	Max. ceiling height*	5 m
	Max. spacing*	3,5 m
<b>Typical application</b>	Marine	Public spaces
	Land	Light and ordinary hazards

**Figura 13. Ficha técnica Sprinkler Type 1N 1MC 6MC 10RA.**

Fuente: Marioff Corporation (2004).

### 5.3.5 Tubería de acero inoxidable

El sistema de tuberías tiene una disposición de línea única, sus estándares y accesorios deben cumplir con las recomendaciones de FM Global, hoja de datos de prevención 4-2 (Water Mist Systems) y la edición más reciente de NFPA 750, y la aprobación del departamento de I + D de Marioff (Marioff Corporation, 2014).

La tubería es de acero inoxidable AISI 304 o 316, resistente a la corrosión, según DIN estándar o igual, asegurando una larga vida útil y agua limpia (Marioff Corporation, 2014).

Los tamaños de tubería estándar que se utilizan en los sistemas HI-FOG son los siguientes:

**Tabla 28. Tamaños de tubería estándar que se usan en los sistemas HI-FOG**

Diameter (mm)	Wall thickness (mm)
12	1.2
16	1.5
20	2
25	2
30	2.5
38	3

Fuente: Marioff Corporation (2014). Protection of Non-storage Occupancies.

Por otro lado, las conexiones son juntas de férula tipo DIN 2353 o de brida SAE 518J. Los acoplamientos están hechos de AISI 303 o 316, o de latón Ms 62.

Los cálculos de resistencia del sistema de tuberías con todos sus componentes deben cumplir los requisitos y el reglamento de la autoridad competente. Normalmente, este sistema está diseñado con un factor de seguridad 4 en la presión mínima de rotura (Marioff Corporation, 2014).

Las abrazaderas para la tubería están equipadas con fondo de acero y placas de cubierta. La distancia entre las pinzas debe estar de acuerdo con los requisitos de la edición más actual de NFPA 750 (Marioff Corporation, 2014).

### 5.3.6 Selección de válvulas

Existen dos tipos de válvulas en la red de distribución: de sección y de descarga.

La red está aislada de la unidad de bombeo por válvulas de sección, que siempre deben estar bloqueadas en posición abierta, excepto cuando se está haciendo una revisión o después del cierre del sistema (Marioff Corporation, 2014).

Cada área protegida por el sistema GPU tiene una válvula de descarga en la zona de inicio de entrada. Se utiliza para limpiar la tubería y los rociadores antes de su puesta en servicio (Marioff Corporation, 2014).

### 5.3.7 Parámetros de instalación y dimensionamiento

Las siguientes especificaciones y criterios de instalación se aplican en general, dependiendo del tipo de rociador escogido (tabla 29).

**Tabla 29. Especificaciones y criterios de instalación en sistemas HI-FOG**

	Type	1N 1MB 6MB 100A	1N 1MC 6MC 10RA	1N 1ME 6MF 10RA
<b>Nozzle</b>	Nominal water (lpm)	4.5	7.5	12.5
	flow rate <sup>(1)</sup> [gpm]	[1.2]	[2.0]	[3.3]
<b>Installation</b>	Location	Ceiling level		
	Projection	Downward		
	Max ceiling (m)	3	5	5
	Height [ft]	[9.8]	[16.4]	[16.4]
	Max spacing (m)	3	3.5	4
	[ft]	[9.8]	[11.4]	[13.1]
	Max distance (m)	1.5	1.75	2
	from walls [ft]	[4.9]	[5.7]	[6.6]
Max coverage (m <sup>2</sup> )	9	12.25	16	
area per nozzle [ft <sup>2</sup> ]	[97]	[132]	[172]	

Fuente: Marioff Corporation (2014). Protection of Non-storage Occupancies.

El caudal nominal se proporciona para el dimensionamiento del suministro de agua y los cálculos hidráulicos. Los rociadores instalados en el techo se deben instalar dentro de los 300 mm [11 in] debajo del techo.

### 5.3.8 Cálculos hidráulicos

El sistema está diseñado típicamente para que durante 30 minutos 9 boquillas trabajen simultáneamente. Para sistemas aprobados por FM, el suministro de agua debe ser capaz de suministrar 60 minutos a las nueve boquillas más lejanas o instaladas a una distancia de 140 m<sup>2</sup> [1500 ft<sup>2</sup>], lo que sea mayor (Marioff Corporation, 2014).

Para los actuales sistemas de fluidos duales no se aplican como tal los métodos de cálculo hidráulico convencionales, debido a la naturaleza única de las características de descarga de la GPU y, especialmente, porque el caudal de agua es menos sensible a la presión que el caudal de gas (Marioff Corporation, 2014). Por esta razón, el enfoque es el siguiente:

Con la GPU, la proporción de mezcla de agua y gas se conoce en todo momento. Se asume una mezcla completa en las dos fases y el método de cálculo de **Darcy-Weisbach** se aplica utilizando la densidad media de esta mezcla (Marioff Corporation, 2014). En la práctica, el caudal nominal de agua específico de la boquilla se multiplica por 1.8 y los cálculos hidráulicos se ejecutan normalmente por modelación en Epanet.

El objetivo de los cálculos hidráulicos no es minimizar la caída de presión sino ajustarla para que esté entre 5 y 15 bar [75 y 220 psi]. Si la caída es muy pequeña se consume el gas en poco tiempo y podría no alcanzar la duración requerida. Si, por otro lado, la caída de presión es muy grande, la duración se prolonga, pero el caudal de agua podría ser demasiado bajo para un correcto funcionamiento (Marioff Corporation, 2014). En este sentido, en la modelación hidráulica es importante verificar que la velocidad máxima en las tuberías no pase de 10 m/s, por criterio de fabricante.

### **5.3.9 Cálculo de la cantidad de cilindros**

Este sistema está diseñado para que durante 30 minutos 9 boquillas trabajen simultáneamente. Para sistemas aprobados por FM, el suministro de agua debe ser capaz de suministrar 60 minutos a las nueve boquillas más lejanas o instaladas a 140 m<sup>2</sup> [1500 ft<sup>2</sup>], lo que sea mayor. El caudal nominal del agua de la tabla se aplica en el dimensionamiento (Marioff Corporation, 2014).

En todas las instalaciones se deben aplicar seis cilindros de agua de 50 l [13 gal].

El número de cilindros de gas (aire o nitrógeno) se calcula con la siguiente fórmula:

**Ecuación 1. Fórmula para calcular el número de cilindros**

$$A \times \frac{N \times t}{V \times p}$$

Fuente: Marioff Corporation (2014). Protection of Non-storage Occupancies.

donde:

N = número de rociadores

t = tiempo de protección (min)

V = volumen del cilindro (L)

p = presión del cilindro (bar)

A se proporciona en la siguiente tabla para los diferentes tipos de boquillas automáticas:

**Tabla 30. Número de cilindros para diferentes tipos de boquillas automáticas**

Nozzle type	A
1N 1MB 6MB 100A	250
1N 1MC 6MC 10RA	500
1N 1ME 6MF 10RA	750

Fuente: Marioff Corporation (2014). Protection of Non-storage Occupancies.

### 5.3.10 Suministro de agua y filtración del sistema

El sistema se puede abastecer con agua de un suministro público o de un tanque.

En todo momento se debe supervisar el suministro de agua del sistema. La base del tanque de agua debe estar al menos 1 m [40 in] más alto que la entrada de la GPU cuando el sistema está preparado y listo para su activación (Marioff Corporation, 2014). Así mismo, debe limpiarse y lavarse adecuadamente antes de conectarlo a la bomba, manteniendo un alto nivel de limpieza en todo momento (Marioff Corporation, 2014).

Cada sistema individual está equipado con un filtro de 300  $\mu\text{m}$  [0.012 in] para evitar que se transporten partículas en la red de descarga, que puedan obstruir los orificios de los rociadores (Marioff Corporation, 2014).

**Requerimientos del agua:** el agua que se utilice en los sistemas HI-FOG debe ser equivalente a un suministro de agua potable y cumplir las siguientes especificaciones:

Incolora e inodora.

No corrosiva.

Concentración de cloruro <50 ppm (= 50 mg / l [0.00042 lb / g]).

Valor de pH 7.0 - 9.0.

Si el pH es <7.0, la alcalinidad será de 1 a 4 mmol / l, el pH nunca debe estar por debajo de 6.5.

Hierro (Fe) y manganeso (Mn); suma <0,3 mg / l.

Sin cloro libre (Marioff Corporation, 2014).

**Recomendaciones de agua:** se recomiendan las siguientes especificaciones:

Conductividad <400  $\mu\text{S} / \text{cm}$

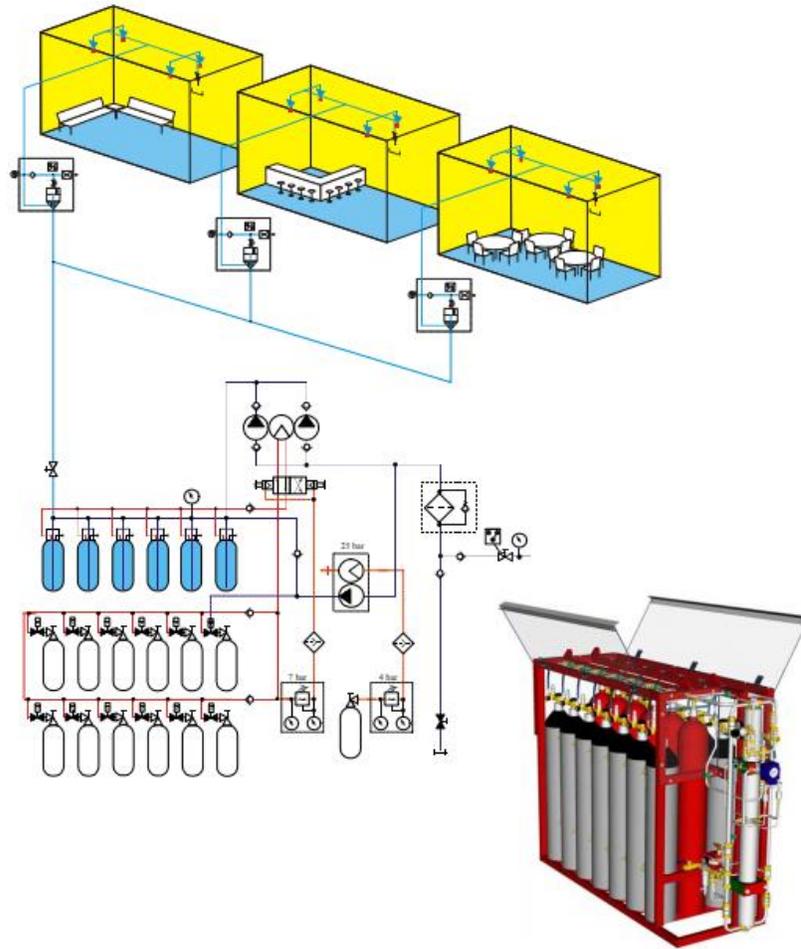
Dureza total 1 - 3 mmol / l (5 - 16 ° dH)

Sólidos en suspensión, TSS <10 mg / l

Sulfato <50 mg / l

TOC <2 mg / l (carbono orgánico total) (Marioff Corporation, 2014).

En este sistema, la cantidad de material orgánico se debe mantener al mínimo. El crecimiento biológico y bacteriano se debe monitorear regularmente. Por su parte, el agua destilada, desmineralizada, desionizada o de ósmosis inversa no debe utilizarse sin ajuste de la alcalinidad (o valor de pH a ~ 8) (Marioff Corporation, 2014).



**Figura 14. App 01 – Schematic Layout of an Installation.**

Fuente: Marioff Corporation (2014). Protection of Non-storage Occupancies.

## 5.4 Sistema MSPU (unidades de bombas modulares para rociadores)

### 5.4.1 Generalidades del sistema

Los sistemas de distribución de agua nebulizada (MSPU) que se describen a continuación son para un solo fluido, empleando como agente supresor agua normal sin aditivos.

Este sistema está dispuesto para una aplicación de descarga continua, que permite suprimir y controlar el fuego por un periodo de tiempo requerido. El sistema completo maneja tubería húmeda, a menos que el cliente solicite algo diferente (Marioff Corporation, 2017).

### 5.4.2 Operación del sistema

El sistema (MSPU) HI-FOG consta de los siguientes elementos principales:

Bomba eléctrica para suministrar agua a la red principal

Rociadores para la descarga de agua nebulizada

Tubos de acero inoxidable y accesorios

Válvulas de sección (normalmente abiertas o cerradas)

Sistema eléctrico de control, monitoreo y señalización (Marioff Corporation, 2017)

Todos los elementos deben estar aprobados y avalados por FM, con excepción de los rociadores de la categoría de riesgo ordinario 1 (OH1), que están listados por UL (Marioff Corporation, 2017).

El proyecto que se va a proteger en su totalidad se puede dividir en subpartes con válvulas de sección independientes, que deben permanecer normalmente abiertas en sistemas de tuberías húmedas o cerradas en sistemas de acción previa (Marioff Corporation, 2017).

Además de la bomba principal, en el sistema MSPU se maneja una bomba Jocky, cuya función en los sistemas de tubería húmeda es mantener en todo el sistema la presión en 25 bar [363 psi] (Marioff Corporation, 2017). Mientras que en un sistema de acción previa la bomba Jocky mantiene la presión en 30 bar [435 psi], que se distribuye hasta cada una de las válvulas de sección normalmente cerradas. Posteriormente, en el sistema desde la válvula de sección y los rociadores la presión de aire que se maneja es de 25 bar [363 psi]. De ninguna manera la presión del aire en un sistema de acción previa debe ser mayor que la presión del agua (Marioff Corporation, 2017).

Por otro lado, las válvulas de sección en el sistema de acción previa siempre deben estar conectadas a un sistema de detección y control aprobados por FM, cuya función es abrir las válvulas de sección y permitir el paso de agua a la red de rociadores (Marioff Corporation, 2017).

La descarga en el sistema de tubería húmeda se activa cuando uno o varios rociadores con vulva de calor se rompen, permitiendo el paso de agua.

Adicionalmente, la caída de presión que se genera en las tuberías crea una señal por medio del sistema de detección y los motores de la bomba se activan automáticamente, comenzando en secuencia y con pocos segundos de diferencia en la activación entre bomba y bomba, para evitar el exceso de electricidad y cargas máximas (Marioff Corporation, 2017).

La señal de cada una de las válvulas de sección genera un aviso que se refleja en un panel de control (Marioff Corporation, 2017). Cuando las bombas se activan comienzan a suministrar agua al sistema con la máxima presión, que es de 140 bar [2030 psi]. La presión mínima en los rociadores es de 80 bar [1160 psi] (Marioff Corporation, 2017).

#### **5.4.3 Unidad de bombeo general**

La bomba debe estar aprobada necesariamente por FM y suministrar agua al sistema a una presión mínima de 80 bar [1160 psi] en los rociadores (Marioff Corporation, 2017). Así mismo, el agua se debe almacenar en un rango de temperatura máxima de + 4 °C a 54 °C [40 °F a 130 °F], esto puede requerir instalaciones de calefacción o refrigeración personalizadas sujetas al entorno de aplicación y almacenamiento (Marioff Corporation, 2017).

La bomba eléctrica (SPU) es modular. En su forma estándar, un módulo cuenta con un motor eléctrico conectado a dos bombas de alta presión (Marioff Corporation, 2017).

La bomba real es única para cada proyecto y su cantidad depende del tamaño de rociadores que se van a encender y de la pérdida de presión en la zona más distante (Marioff Corporation, 2017).

#### **5.4.4 Rociadores para la descarga de agua nebulizada**

En este manual sólo se deben utilizar las siguientes boquillas:

**Tabla 31. Boquillas de rociadores para riesgos leves (HC-1) en un sistema MSPU**

Type	K factor		Technical Data Sheet
	lpm/bar <sup>1/2</sup>	gpm/psi <sup>1/2</sup>	
<b>HC-1 occupancies / FM Approved nozzles</b>			
C10 – 57C	4.1	0.28	TC2010
C20 – 57C	4.1	0.28	TC2030
S10 – 57C	3.5	0.24	TC2060
S20 – 57C	3.2	0.24	TC2080

Fuente: Marioff Corporation (2017). Protection Of Non-storage Occupancies, Hazard Category 1 (HC-1) and Ordinary hazard group 1 (oh1) occupancies.

**Tabla 32. Boquillas de rociadores para riesgo ordinarios 1 (OH-1) en un sistema MSPU**

Type	K factor		Technical Data Sheet
	lpm/bar <sup>1/2</sup>	gpm/psi <sup>1/2</sup>	
<b>OH1 occupancies / UL Listed nozzles</b>			
C20 – 57C/3			
C20 – 68C/3	4.1	0.28	K0006970
C20 – 79C/3			

Fuente: Marioff Corporation (2017). Protection Of Non-storage Occupancies, Hazard Category 1 (HC-1) and Ordinary hazard group 1 (oh1) occupancies.

#### 5.4.5 Tubería de acero inoxidable

Toda la tubería está unida como un sistema lineal; adicionalmente, ésta debe cumplir, así como sus accesorios, con las recomendaciones de FM y la edición más reciente de NFPA 750 (Marioff Corporation, 2017).

La tubería está hecha de acero inoxidable AISI 316 resistente a la corrosión, para garantizar una larga vida y agua limpia. Los tamaños de la tubería estándar que se utilizan en los sistemas HI-FOG se muestran a continuación (tabla 33).

**Tabla 33. Tamaños de tubería estándar que se utilizan en los sistemas HI-FOG - MSPU**

<b>Diameter (mm)</b>	<b>Wall thickness (mm)</b>
12	1.2
16	1.5
20 (*)	2
25	2
30	2.5
38	3.0

Fuente: Marioff Corporation (2017). Protection of Non-storage Occupancies, Hazard Category 1 (HC-1) and Ordinary hazard group 1 (oh1) occupancies.

Las conexiones son juntas de férula tipo DIN 2353 o juntas de brida SAE 518J. Los acoplamientos están elaborados en AISI 303 o 316 o en latón Ms 62 (Marioff Corporation, 2017).

Los cálculos de resistencia del sistema de tuberías con todos sus componentes deben cumplir los requisitos y reglamento de la autoridad competente. Normalmente, el sistema está diseñado con un factor 4 de seguridad en la presión mínima de rotura (Marioff Corporation, 2017). Las abrazaderas para la tubería están equipadas con fondo de acero y placas de cubierta. La distancia entre las pinzas debe estar de acuerdo con los requisitos de la edición más actual de NFPA 750.

#### **5.4.6 Selección de válvulas**

Existen dos tipos de válvulas en la red de distribución: de sección y de descarga.

En los sistemas de tubería húmeda la red está conectada a la bomba eléctrica y a una válvula de sección normalmente abierta (Marioff Corporation, 2017). Las válvulas siempre deben estar bloqueadas en posición abierta, salvo cuando se esté revisando la sección o después del cierre del sistema.

En los sistemas de acción previa la red está aislada por una válvula de sección normalmente cerrada, las cuales sólo se abren mediante una señal que emite el sistema de detección aprobado por FM (Marioff Corporation, 2017).

### 5.4.7 Parámetros de instalación y dimensionamiento

Como el sistema MSPU maneja dos tipos de riesgos, cada uno posee sus propios parámetros de instalación y dimensionamiento (tabla 34).

**Tabla 34. Riesgo leve (HC-1) aprobado por FM para un sistema MSPU**

	Max ceiling height	2.5 m [8 ft]	5 m [16 ft]
Nozzle	Type	C10-57C	C20-57C
	K factor	4.1 lpm/bar <sup>1/2</sup> [0.28 gpm/psi <sup>1/2</sup> ]	
	Location	Ceiling level	
	Projection	Downward	
Installation	Max spacing	5 m [16 ft]	
	Max distance from walls	2.5 m [8 ft]	
	Max coverage area per nozzle	25 m <sup>2</sup> [270 ft <sup>2</sup> ]	
	Minimum flux density	1.5 lpm/m <sup>2</sup> [0.037 gpm/ft <sup>2</sup> ]	

Fuente: Marioff Corporation (2017). Protection Of Non-storage Occupancies, Hazard Category 1 (HC-1) and Ordinary hazard group 1 (oh1) occupancies.

Los rociadores se deben instalar máximo a 300 mm [11 in] de la placa del techo. Los rociadores laterales se deben instalar máximo entre 40 y 150 mm [1.5 y 6 in] de la placa del techo.

**Tabla 35. Riesgo ordinario 1 (OH-1) aprobado por UL para un sistema MSPU**

Nozzle	Type	C20 – 57C/3 C20 – 68C/3 C20 – 79C/3
	K factor	4.1 lpm/bar <sup>1/2</sup> [0.28 gpm/psi <sup>1/2</sup> ]
	Location	Ceiling level
Installation	Projection	Downward
	Max ceiling height	4 m [13.1 ft]
	Max spacing	3.05 m [10 ft]
	Minimum spacing	1.83 m [6 ft]
	Max distance from walls	1.53 m [5 ft]
	Max coverage area per nozzle	9.3 m <sup>2</sup> [100 ft <sup>2</sup> ]
	Operating pressure range	80 -130 bar [1160 -1885 psi]
	Maximum height of combustible material	2.4 m [8 ft]

Fuente: Marioff Corporation (2017). Protection Of Non-storage Occupancies, Hazard Category 1 (HC-1) and Ordinary hazard group 1 (oh1) occupancies.

**Tabla 36. Tipo de rociadores según temperatura**

Tipo de rociador	Temperatura nominal
	57 °C (135 °F) (color
C20 – 57C/3	anaranjado)
C20 – 68C/3	68 °C (155 °F) (color rojo)
C20 – 79C/3	79 °C (175 °F) (color amarillo)*

Fuente: Marioff Corporation (2017). Protection of Non-storage Occupancies, Hazard Category 1 (HC-1) and Ordinary hazard group 1 (oh1) occupancies.

Los rociadores de temperatura de 57 °C [135 ° F] y 68 °C [155 ° F] se eligen de acuerdo con la temperatura ambiente donde se estén instalando. El rociador con temperatura de 79 °C [175 ° F] sólo se permite en zonas específicas de alta temperatura, como calentadores o cocinas industriales (Marioff Corporation, 2017).

Los rociadores montantes o *up righth* deben tener un máximo de 100 mm desde la boquilla hasta la placa, mientras que la distancia mínima desde la parte superior de cualquier material almacenado hasta la punta de la boquilla debe ser de 533 mm (Marioff Corporation, 2017).

#### 5.4.8 Cálculos hidráulicos

Estos cálculos se deben realizar utilizando los métodos de **Darcy-Weisbach** para flujos de alta presión. Por esta razón, se tienen las siguientes condiciones de cálculo de acuerdo con el riesgo escogido.

##### 5.4.8.1 Condiciones de cálculo para riesgo leve (HC-1)

Para los sistemas aprobados por FM, éste debe ser capaz de suministrar 60 minutos de agua a los nueve rociadores más lejanos o a un área de 140 m<sup>2</sup> [1500 pies<sup>2</sup>], se escoge el mayor de los dos, preservando que la presión mínima nominal de los rociadores y del sistema en general sea de 80 bar [1160 psi] (Marioff Corporation, 2017).

La densidad de flujo de agua nominal es 1.5 lpm / m<sup>2</sup> [0.037 gpm / ft<sup>2</sup>], en ningún caso puede ser mayor (Marioff Corporation, 2017).

El objetivo de los cálculos hidráulicos no es minimizar la caída de presión sino ajustarla, es decir, que las pérdidas desde el equipo de presión hasta el rociador más desfavorable no sean mayores de 60 bar [871 psi] (Marioff Corporation, 2017). En la modelación hidráulica es importante verificar que la velocidad máxima en las tuberías no pase de 10 m/s, por criterio del fabricante.

#### ***5.4.8.2 Condiciones de cálculo para riesgo ordinario 1 (OH-1)***

Para los sistemas aprobados por UL, éstos deben ser capaces de suministrar agua al área más lejana (140 m<sup>2</sup> [1500 pies<sup>2</sup>]) en 60 o 90 minutos de tiempo de descarga. La presión mínima nominal de trabajo debe ser de 80 bar [1160 psi], considerando que sólo se permite el uso de la duración más baja cuando el sistema completo está supervisado por alarmas y monitoreado en un lugar aprobado (Marioff Corporation, 2017). Así mismo, la densidad de flujo de agua nominal de cualquier rociador debe ser de 3.9 lpm / m<sup>2</sup>[0.095 gpm / ft<sup>2</sup>], nunca puede ser mayor.

El objetivo de los cálculos hidráulicos no es minimizar la caída de presión sino ajustarla, es decir, que las pérdidas desde el equipo de presión hasta el rociador más desfavorable no sean mayores de 60 bar [871 psi] (Marioff Corporation, 2017). En la modelación hidráulica es importante verificar que la velocidad máxima en las tuberías no sobrepase los 10 m/s, por criterio de fabricante.

#### **5.4.9 Suministro de agua y filtración del sistema**

El sistema se puede abastecer con agua de un suministro público o de un tanque. El sistema debe limpiarse y lavarse adecuadamente antes de conectarlo a la bomba. En todo momento debe mantenerse un alto nivel de limpieza. Cada sistema individual está equipado con un filtro de 300 µm [0.012 in] para evitar que se transporten partículas en la red de descarga, que puedan obstruir los orificios de los rociadores. El volumen del tanque es suficiente para abastecer el caudal del

área más lejana, escogida en el diseño, y en el tiempo estipulado por el DIOM (Marioff Corporation, 2017).

**Requerimientos del agua:** el agua que se utiliza para los sistemas HI-FOG es el equivalente a un suministro de agua potable.

El agua debe cumplir con las siguientes especificaciones:

Incolora e inodora

No corrosiva

Concentración de cloruro <50 ppm (= 50 mg / l [0.00042 lb / g])

Valor de pH 7.0 - 9.0

Si el pH es <7.0, la alcalinidad será de 1 a 4 mmol / l, el pH nunca debe estar por debajo de 6.5.

Hierro (Fe) y manganeso (Mn); suma <0,3 mg / l

Sin cloro libre (Marioff Corporation, 2017).

**Recomendaciones del agua:** se recomiendan las siguientes especificaciones:

Conductividad <400  $\mu$ S / cm

Dureza total 1 - 3 mmol / l (5 - 16 ° dH)

Sólidos en suspensión, TSS <10 mg / l

Sulfato <50 mg / l

TOC <2 mg / l (carbono orgánico total) (Marioff Corporation, 2017).

Se debe mantener al mínimo la cantidad de material orgánico. El crecimiento biológico y bacteriano se debe monitorear regularmente. El agua destilada, desmineralizada, desionizada o de ósmosis inversa no se debe utilizar sin ajustar su alcalinidad (o valor de pH a ~ 8) (Marioff Corporation, 2017).

## 6. Parámetros generales para el diseño de tecnologías HI-FOG

### 6.1 Sistema MAU

Como se mencionó, este sistema se aplica única y exclusivamente en la protección de riesgos de espacios cerrados (turbinas de gas, espacios de maquinaria) y riesgos especiales (espacios de maquinaria con volúmenes que no sobrepasen los 260 m<sup>3</sup>).

El diseño del sistema se inicia identificando la zona que se va a proteger. De acuerdo con el volumen del recinto se escoge el sistema, se determina la cantidad de rociadores y el dimensionamiento de la red, que generalmente se basa en que la cantidad de rociadores en el recinto funcione simultáneamente durante 10 minutos. A continuación, se presenta la cantidad de rociadores de acuerdo con el volumen del recinto (tabla 37).

**Tabla 37. Cantidad de rociadores de acuerdo con el volumen del recinto en un sistema MAU**

Unit ID	Water cylinders	Gas cylinders
MAU 50	1 x 50 liter [13 gal]	1 x 20 liter [5 gal]
MAU 100	2 x 50 liter [13 gal]	1 x 50 liter [13 gal]
MAU 150]	3 x 50 liter [13 gal]	1 x 50 liter [13 gal]

Fuente: Marioff Corporation (2014, p. 11).

Después de identificar el sistema MAU que se va a utilizar se procede a presentar las pautas de instalación de los rociadores dentro del recinto.

Para zonas de turbinas de gas se aplican las siguientes pautas de instalación:

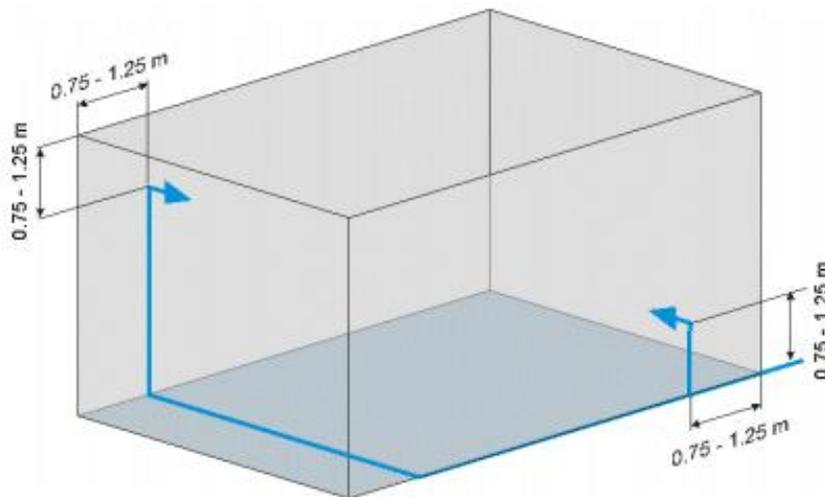
La altura máxima del techo del recinto debe ser de 5 m.

Los rociadores deben montarse en la pared, de manera que el agua nebulizada se descargue a lo largo de la turbina, en una trayectoria paralela a su línea central. El montaje horizontal de los

rociadores se debe hacer dentro del compartimiento de la turbina, para evitar el impacto directo de la descarga de agua en la carcasa de la turbina.

Los rociadores se deben instalar en paredes opuestas para generar un flujo circular de agua nebulizada alrededor de la turbina dentro del recinto.

Los rociadores deben colocarse como mínimo a 0,75 m y a un máximo de 1,25 m de las paredes perpendiculares a las de los extremos, es decir, paredes laterales, techo y piso, como se muestra a continuación (figura 15).



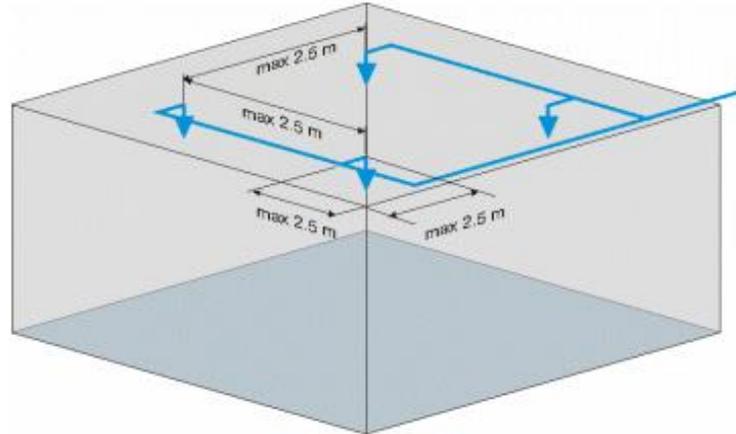
**Figura 15. Instalación de rociadores en un sistema MAU.**

Fuente: Marioff Corporation (2014, p. 15).

Para espacios de maquinaria y compartimientos auxiliares se deben aplicar las siguientes pautas de instalación:

La altura máxima del techo del recinto debe ser de 5 m.

Los rociadores se deben ubicar al nivel del techo con una proyección hacia abajo, a una distancia máxima de 2,5 m desde las paredes, con 2,5 m de espacio entre los rociadores. Como se muestra a renglón seguido (figura 16).



**Figura 16. Ubicación desde el techo de los rociadores en un sistema MAU.**

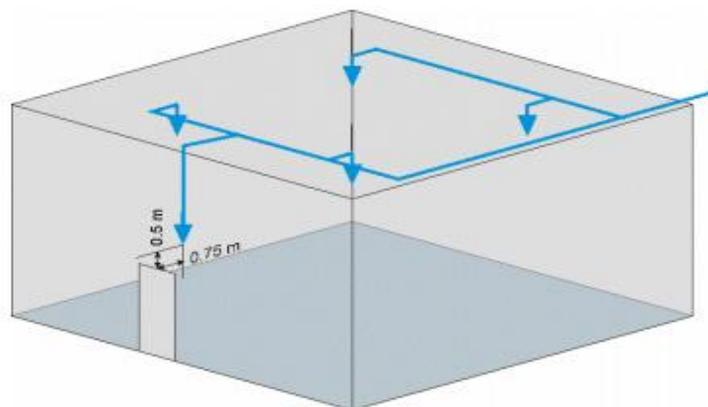
Fuente: Marioff Corporation (2014, p. 16).

Para espacios de maquinaria de peligro especial se aplican las siguientes pautas de instalación:

La altura máxima del techo del recinto debe ser de 5 m.

Los rociadores se deben ubicar al nivel del techo con una proyección hacia abajo, a una distancia máxima de 2,5 m desde las paredes, con 2,5 m de espacio entre rociadores (figura 16).

Se requiere un rociador adicional encima de cada puerta de servicio / acceso normal, como se muestra a continuación (figura 17).



**Figura 17. Instalación de un rociador adicional en la puerta de servicio de un sistema MAU.**

Fuente: Marioff Corporation (2014, p. 16).

Después de definir el número de rociadores que se van a utilizar y su respectiva ubicación en el recinto, se determina el diámetro de las tuberías de la red. El sistema MAU es un sistema ya estandarizado, que tiene las siguientes condiciones de instalación y distribución de diámetros:

Cuando se va a utilizar MAU 150, la red de descarga es de 16 mm [5/8]" hasta la primera derivación T, después comienza con una tubería de 12 mm [1/2]" hasta cada uno de los rociadores.

Cuando se va a utilizar MAU 100, la red de descarga es de 12 mm [1/2] " a lo largo de la red hasta cada uno de los rociadores.

Cuando se va a utilizar MAU 50, la red de descarga es de 12 mm [1/2] " a lo largo de la red hasta cada uno de los rociadores.

Es importante tener en cuenta que para dimensionar los conductos sólo se permiten 20 m de longitud para de tuberías de 12 mm [1/2]", desde la primera T de distribución hasta todos los rociadores, y 10 m para tuberías de 16 mm [5/8] ", desde el almacenamiento de agua y gas hasta la primera T de distribución.

## **6.2 Sistema GPU**

Este sistema comprende y abarca los riesgos leves (HC-1) que no son de almacenamiento. Una vez identificado el riesgo que aplica para la edificación que se va a cubrir se verifica la altura máxima entre los pisos para definir el tipo de rociador y sus propiedades. A continuación se presentan las propiedades de cada uno de los rociadores, de acuerdo con la altura de entre pisos de la edificación.

**Tabla 38. Propiedades los rociadores de acuerdo con la altura de entre pisos de la edificación**

	Type	1N 1MB 6MB 100A	1N 1MC 6MC 10RA	1N 1ME 6MF 10RA
Nozzle	Nominal wáter (lpm)	4.5	7.5	12.5
	flow rate <sup>(1)</sup> [gpm]	[1.2]	[2.0]	[3.3]
Installation	Location	Ceiling level		
	Projection	Downward		
	Max ceiling (m)	3	5	5
	Height [ft]	[9.8]	[16.4]	[16.4]
	Max spacing (m)	3	3.5	4
	[ft]	[9.8]	[11.4]	[13.1]
	Max distance (m)	1.5	1.75	2
	from walls [ft]	[4.9]	[5.7]	[6.6]
	Max coverage (m <sup>2</sup> )	9	12.25	16
area per nozzle [ft <sup>2</sup> ]	[97]	[132]	[172]	

Fuente: Marioff Corporation (2014). Protection of Non-storage Occupancies.

Los diámetros de tubería frecuentemente utilizados se resumen en la siguiente tabla (tabla 39). Después de trazar la red, los diámetros de los tramos se definen de acuerdo con el cálculo hidráulico correspondiente, para cuyo análisis se puede utilizar el modelo de dominio público Epanet.

**Tabla 39. Tamaños de tubería estándar que se utilizan en los sistemas GPU**

Diameter (mm)	Wall thickness (mm)
12	1.2
16	1.5
20	2
25	2
30	2.5
38	3.0

Fuente: Marioff Corporation (2014). Protection of Non-storage Occupancies.

Una vez escogido el rociador se inicia el diseño del sistema con la distribución de los rociadores desde la zona más desfavorable o lejana. Lo ideal es que en cada cuarto de la edificación se comience con el menor diámetro de tubería y en la medida en que se deriven más rociadores de la red principal se aumente este diámetro.

### 6.3 Consideraciones para el diseño hidráulico

El sistema está diseñado típicamente para que durante 30 minutos 9 boquillas trabajen de manera simultánea. Para sistemas aprobados por FM, el suministro de agua debe ser capaz de suministrar 60 minutos a las 9 boquillas más lejanas o que se encuentren a una distancia de 140 m<sup>2</sup> [1500 ft<sup>2</sup>] área, lo que sea mayor.

Para los actuales sistemas de fluidos duales no se aplican como tal los métodos de cálculo hidráulico convencionales, debido a la naturaleza única de las características de descarga de la GPU y, especialmente, al hecho de que el caudal de agua es menos sensible a la presión que el caudal de gas. El enfoque es el siguiente:

Con la GPU la proporción de mezcla de agua y gas se conoce en todo momento. Se asume una mezcla completa para las dos fases. El método de cálculo de **Darcy-Weisbach** se aplica utilizando la densidad media de dicha mezcla.

En la práctica, el caudal nominal de agua específico de la boquilla se multiplica por 1.8 y los cálculos hidráulicos se ejecutan normalmente por modelación en Epanet.

El objetivo de los cálculos hidráulicos no es minimizar la caída de presión sino ajustarla para que esté entre 5 y 15 bar [75 y 220 psi]. Si esta caída es muy pequeña el gas se consume en poco tiempo y podría no alcanzarse la duración requerida. Si, por otro lado, la caída de presión es muy grande, la duración se prolongaría y el caudal de agua podría ser demasiado bajo para un correcto funcionamiento.

En la modelación hidráulica es importante verificar que la velocidad máxima en las tuberías no pase de 10 m/s, por criterio del fabricante.

## **7. Agua nebulizada vs. sistemas de rociadores convencionales**

Los rociadores tradicionales dependen totalmente del agua para su funcionamiento, al igual que los sistemas de agua nebulizada; sin embargo, difieren en que estos últimos necesitan una cantidad mínima de agua. Los rociadores convencionales requieren una gran cantidad de agua en forma de gotas grandes y presiones bajas.

En este sentido, y debido a que los rociadores tradicionales necesitan grandes cantidades de agua, el tanque debe ser de gran magnitud, ocupando un mayor espacio. Mientras que para el agua nebulizada, los tanques generalmente no sobrepasan los 12 m<sup>3</sup>, debido a sus altas presiones.

Por otro lado, los clientes a menudo se quejan de los daños que generan los rociadores convencionales en sus bienes de mayor valor, como zonas eléctricas o de almacenaje de papelería. Por el contrario, el agua nebulizada gracias a que genera microgotas de agua no representa ningún daño para estos productos, puesto que no mojan sino que humedecen el ambiente.

Finalmente, en los sistemas de rociadores convencionales las tuberías de suministro deben tener de grandes diámetros, debido a la cantidad de agua necesaria y sus bajas presiones, lo cual los hace poco amigables con la arquitectura de un proyecto. En su defecto, en los sistemas de agua nebulizada los diámetros de las tuberías de distribución principales son pequeños, gracias a la optimización de bajo consumo de agua del sistema, lo cual es aconsejable en zonas pequeñas de ductos o en edificaciones existentes.

## 8. Conclusiones y recomendaciones

Los primeros mecanismos de extinción de fuego para edificaciones consistían en sistemas de gabinetes, cuya principal desventaja era que se activaban manualmente. Posteriormente, se innovó en las simulaciones de lluvias al interior de los recintos por medio de rociadores que se activaban de forma automática, dependiendo la temperatura del incendio. No obstante, este sistema requería grandes cantidades de agua para extinguir el incendio, ocasionando la inundación de la zona y generando daños en los productos y estructuras de la edificación, razón por la cual se implementaron nuevas tecnologías, como el sistema de agua nebulizada, que utiliza menos agua y tiene un rociador que la pulveriza en microgotas, humedeciendo el ambiente sin ocasionar daños.

En este trabajo se pudo determinar que la elección del tipo de rociadores depende del uso de cada edificación y se limita de acuerdo con el lugar donde se instale, razón por la cual es importante indagar y profundizar en nuevas tecnologías de extinción de incendios, como sucede con el sistema de agua nebulizada HI-FOG, cuya tecnología brinda diversas soluciones, como establecer con exactitud el tipo de rociador más eficiente para algunas zonas en las que se encuentra una limitante con los sistemas de rociadores convencionales.

Con la información recopilada se elaboró una guía para el diseño de sistemas de protección contra incendios basada en la tecnología HI-FOG. La principal característica de este documento es que es de fácil comprensión para el lector.

Finalmente, es importante destacar que en este trabajo se habla de la eficiencia amplia y suficiente del sistema de agua nebulizada en cualquier incendio. Esto difiere con el hecho de que los sistemas convencionales, que son los de uso más común en la actualidad, necesitan más tiempo para extinguir el fuego, lo cual puede ocasionar más deterioro en el edificio y los bienes. Adicionalmente, estos sistemas presentan una serie de desventajas debido a la forma como se utiliza el agente extintor. Sin embargo, pese a todas las ventajas del sistema de agua nebulizada tipo HI-FOG con respecto a los sistemas convencionales, su mayor desventaja tiene que ver con el alto costo. Por esta razón, para la elección de un sistema u otro se debe considerar entre una

alta inversión para un sistema más fiable y eficiente que los actuales, y el ajuste a la normativa vigente, o entre un sistema que, como se ha descrito, compromete vidas humanas y la integridad de las edificaciones. En conclusión, en lo referente a sistemas de protección contra incendios la restricción en gastos puede implicar perjuicios mucho mayores que los justificados por el ahorro.

Como se evidencio en el trabajo, debido a las grandes presiones que superan los 500 psi en los sistemas de agua nebulizada las condiciones de solitud de agua son mínimas respecto a los sistemas de rociadores convencionales. Las grandes velocidades en las que se transporta el agua en los sistemas de agua nebulizada hacen que el sistema solicite diámetros muy pequeños, con esto el sistema será mucho más fácil y favorable de instalar en la edificación.

Debido a las diferencias en las solicitudes mecánicas entre los sistemas de agua nebulizada y los sistemas de rociadores se podrían ver compensaciones en costos entre un sistema y el otro, los rociadores convencionales con sus presiones bajas, grandes diámetros y una demanda de caudal alto son de costo preferencial en comparación con el sistema de agua nebulizada pero poco eficiente técnicamente y poco accesible con la arquitectura del proyecto, mientras que el sistema de agua nebulizada con sus altas presiones, pequeños diámetros y una demanda de caudal baja es un sistemas más eficiente técnicamente y accesible con la arquitectura del proyecto pero acarrea con grandes costos en la instalación del sistema.

Con las nuevas tecnologías de agua nebulizada en el mercado y viendo las nuevas zonas en las cuales el agua pulverizada no deteriora los elementos internos, ha entrado a competir fuertemente con los sistemas de agentes limpios, los cuales son agentes que manejan CO<sub>2</sub> que implica daño al medio ambiente y deterioros a la estructura de la edificación.

## Bibliografía

- Asociación de Profesionales de Ingeniería de Protección contra Incendios (2010). *Criterios de selección de sistemas de protección alternativos a los halones*. Recuperado en mayo de 2019 de Study Lib: <https://studylib.es/doc/7456864/protecci%C3%B3n-activa-contra-incendios...>
- Asociación Española de Normalización, UNE (2014). *Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de agua nebulizada. Diseño e instalación. UNE-CEN/TS 14972*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- GESAB (s.f.). *Agua nebulizada: una opción segura para tu data center*. Recuperado en mayo de 2019 de <https://gesab.com/agua-nebulizada-una-opcion-segura-para-tu-data-center/>.
- Grupo Aguilera (2016). *Control y extinción por agua nebulizada*. Recuperado en mayo de 2019 de Doc Player: <https://docplayer.es/11734351-Control-y-extincion-por-agua-nebulizada.html>.
- INMA (Ingenieros Mecánicos Asociados) (s.f.). *Normatividad colombiana en sistemas contra incendio*. Recuperado en mayo de 2019 de <https://www.inma.com.co/index.php/nuestro-blog/164-normatividad-colombiana-en-sistemas-contra-incendio>.
- Marioff Corporation (2014). *Pre-Engineered HI-FOG® Systems*. Vantaa, Finland: HI-FOG Systems.
- Marioff Corporation (2014). *Protection of Non-storage Occupancies, Hazard Category (HC-1)*. Vantaa, Finland: HI-FOG.
- Marioff Corporation (2017). *Protection Of Non-storage Occupancies, Hazard Category 1 (HC-1) and Ordinary hazard group 1 (oh1) occupancies*. Vantaa, Finland: HI-FOG.
- Marioff Corporation (2004). *Sprinkler Type 1N 1MC 6MC 10RA*. Vantaa, Finland: HI-FOG.
- Marioff Corporation (2004). *Technical Data Sheet Spray Head Type 4s 1mc 8mc 1000*. Vantaa, Finland: Hi - Fog.
- Marioff Corporation (2014). *HI-FOG Systems comprise mechanical components and also employ high-pressure gas cylinders for water pressurization*. Vantaa, Finland: HI-FOG.
- Marioff Corporation (2019). *Acerca de Marioff*. Recuperado en mayo de 2019 de <https://www.marioff.com/about-marioff>.

- Marioff Corporation (2019). *Protección contra incendios con HI-FOG®: ¿Cómo funciona?* Recuperado en mayo de 2019 de <https://www.marioff.com/es/water-mist/proteccion-contra-incendios-con-hi-fogr-como-funciona>.
- Marioff Corporation (2019). *Protección contra incendios mediante agua nebulizada*. Recuperado en mayo de 2019 de Water Mist Fire Protection Technology: <https://www.marioff.com/es/water-mist/proteccion-contra-incendios-mediante-agua-nebulizada>.
- Marioff Corporation (s.f.). *NFPA 750*. Recuperado en mayo de 2019 de Normas de seguridad contra incendios: <https://www.marioff.com/es/water-mist/normas-de-seguridad-contra-incendios/nfpa-750>.
- National Fire Protection Association, NFPA (2015). *Sistemas de protección contra incendios de agua nebulizada. NFPA 750*. Massachusetts: NFPA.
- National Fire Protection Association, NFPA (2018). *Norma para la instalación de sistemas de rociadores. NFPA 13*. Massachusetts: NFPA.
- Pérez Porto, J. & Merino, M. (2016). *Definición de combustión*. Recuperado en mayo de 2019 de Definición.de: <https://definicion.de/combustion/>.
- Skyline Activities Ltd. (abril de 2015). *Combustion*. Recuperado en mayo de 2019 de <http://www.skyline-sooty.co.uk/from-the-blacksmith>.
- Soler Fire & Security Systems (18 de julio de 2014). *Sistemas fijos de extinción por rociadores automáticos (sprinkler) y agua pulverizada*. Recuperado en mayo de 2019 de <http://www.solerprevencion.com/mas-sobre/sistema-de-extincion-por-rociadores/>.
- Sprinkpoint (2018). *Sistema de rociadores*. Recuperado en mayo de 2019 de <http://www.sprinkpoint.co/sistema-de-rociadores-automaticos/>.
- Universidad Nacional de Colombia (2017). *Diseño de los sistemas de agua nebulizada HI-FOG*. Bogotá.
- Villafuerte, E. (23 de marzo de 2018). *La NFPA 750 y la extinción de incendio con agua nebulizada*. Recuperado en mayo de 2019 de Blog de prevención y sistemas contra incendios: <https://eduardovillafuerteblog.wordpress.com/2018/03/23/la-nfpa-750-y-la-extincion-de-incendio-con-agua-nebulizada/>.