

MANUAL PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS A  
BASE DE AGUA

MARLEN ROCIO JUEZ PIRACHICAN

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2021

MANUAL PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS A  
BASE DE AGUA

MARLEN ROCIO JUEZ PIRACHICAN

Trabajo de grado para título de Ingeniera Civil

Director

WILLIAM RICARDO MOZO MORENO

Ingeniero civil, Magister en Ingeniería Ambiental y en Ingeniería Civil con énfasis en  
Hidroambiental

Codirector

PABLO ANDRÉS JUEZ PIRACHICAN

Ingeniero Civil, Especialista CEPI, Aspirante a título de Magister en recursos hídricos

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2021

## **Agradecimientos**

En primer lugar, quiero agradecerle a Dios por permitirme tener salud y vitalidad para llevar a cabo lo que me he propuesto en mi vida. Asimismo, a mis padres, quienes día a día me han ensañado las bases fundamentales para desempeñarme en cada uno de los aspectos de mi vida con responsabilidad, honestidad, compromiso, respeto y dedicación. A mi hermano Andrés por ser parte fundamental en el desarrollo de este proyecto. A mi hermana Laura, por el apoyo que siempre encuentro en ella. A mi sobrino Juan Andrés, quien se ha convertido en un motor para mí. A mis abuelos, que, aunque 3 de ellos ya no me acompañen físicamente, sé que desde donde estén, sienten orgullo por las cosas que he logrado hasta este día y finalmente a Alejandro, por su apoyo incondicional en cada actividad en la que me desempeñé.

## Hojas de firmas jurados

Nota de aceptación

---

---

---

---

Director del proyecto  
Ing. William Ricardo Mozo Moreno

---

Codirector del proyecto  
Ing. Pablo Andrés Juez Pirachican

---

Jurado 1  
Pedro Mauricio Acosta

---

Jurado 2  
Juan Pablo González

Tunja, 15 de abril de 2021

## Tabla de contenido

<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	20
<b>1.1. CONCEPTOS BÁSICOS</b> .....	20
1.1.1. Emergencia.....	20
1.1.2. Incendio estructural .....	20
1.1.3. Estadísticas sobre incendios estructurales en Colombia.....	20
1.1.4. Hidrante.....	20
1.1.5. Propiedades de la extinción de incendios .....	22
1.1.6. Supresión a base de agua .....	23
1.1.7. Normatividad para la protección contra incendios .....	24
<b>1.2. CLASIFICACIÓN DE OCUPACIÓN, RIESGO Y MERCANCÍA</b> .....	26
1.2.1. Clasificación de ocupación.....	26
1.2.2. Clasificación por riesgo .....	26
1.2.3. Clasificación de mercancías.....	27
<b>1.3. ROCIADORES AUTOMÁTICOS</b> .....	29
1.3.1. Elementos de funcionamiento.....	29
1.3.2. Clasificaciones de temperatura de los rociadores automáticos .....	30
1.3.3. Rociadores automáticos estándar.....	31
1.3.4. Rociadores para condiciones especiales de servicio.....	34
1.3.5. Sistemas de rociadores automáticos.....	38
<b>1.4. SISTEMAS DE SUPRESIÓN DE INCENDIOS CON AGUA PULVERIZADA, NEBULIZADA Y ESPUMA</b> .....	41
1.4.1. Protección mediante la pulverización de agua.....	41
1.4.2. Sistema de supresión de incendios con agua nebulizada.....	43
1.4.3. Sistemas y agentes de extinción de espuma .....	45
<b>1.5. SISTEMAS DE COLUMNAS DE AGUA Y CONEXIONES PARA MANGUERAS</b> .....	47
1.5.1. Proceso de diseño .....	47
1.5.2. Tipos de sistemas .....	48
1.5.3. Disposición del sistema.....	49
1.5.4. Requisitos para el abastecimiento de agua y la tubería .....	49
1.5.5. Componentes del sistema .....	50
<b>1.6. BOMBAS ESTACIONARIA CONTRA INCENDIOS</b> .....	51

1.6.1.	Tipos de bombas .....	53
1.6.2.	Accesorios de la bomba .....	54
1.6.3.	Principios de operación .....	54
1.6.4.	Curvas características de la bomba .....	55
1.6.5.	Cabezal total.....	56
1.6.6.	Velocidad específica.....	57
1.6.7.	Potencia de bombas de Incendio .....	57
2.	<b>HIDRÁULICA PARA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS</b> .....	58
2.1.	<b>PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL AGUA</b> .....	58
2.2.	<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b> .....	58
2.2.1.	Densidad .....	58
2.2.2.	Peso Específico .....	58
2.2.3.	Viscosidad.....	58
2.3.	<b>PRESIÓN</b> .....	59
2.3.1.	Presión Normal .....	59
2.3.2.	Cabeza de velocidad .....	59
2.4.	<b>TEOREMA DE BERNOULLI</b> .....	60
2.4.1.	Expresión matemática .....	60
2.5.	<b>FLUJO DE AGUA EN TUBERÍAS</b> .....	60
2.6.	<b>FÓRMULAS DE FLUJO POR PERDIDAS DE FRICCIÓN (CABEZA)</b> .....	61
2.6.1.	Formula de Chezy.....	61
2.6.2.	Formula de Darcy-Weisbach.....	61
2.6.3.	Formula de Hazen-Williams.....	62
2.6.4.	Perdidas menores.....	62
2.6.5.	Flujo de agua a través de orificios.....	63
3.	<b>PROCESO DE DISEÑO Y CÁLCULO</b> .....	66
3.1.	Rociadores automáticos.....	66
3.2.	Conexiones de mangueras .....	73
3.3.	Espumas de baja expansión .....	74
3.4.	Agua pulverizada .....	76
3.5.	Bombas contra incendios.....	78
4.	<b>CASOS DE ESTUDIO Y ANÁLISIS</b> .....	79

<b>4.1. EDIFICIO ADMINISTRATIVO DE CALI</b> .....	79
<b>4.1.1. Rociadores Automáticos</b> .....	80
<b>4.1.2. Conexiones De Mangueras</b> .....	89
<b>4.1.3. Elección De La Bomba Contra Incendios</b> .....	90
<b>4.2. TERMINAL DE ALMACENAMIENTO DE LÍQUIDOS DE CARTAGENA</b> 94	
<b>4.2.1. Sistema De Agua Pulverizada</b> .....	94
<b>4.2.2. Sistema De Espuma De Baja Expansión</b> .....	97
<b>4.2.3. Elección De La Bomba Contra Incendios</b> .....	98
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	106
<b>6. RECOMENDACIONES</b> .....	107
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	108
<b>8. ANEXOS</b> .....	111
<b>ANEXO A: CONCEPTOS BÁSICOS</b> .....	111
<b>ANEXO C: ROCIADORES AUTOMÁTICOS</b> .....	114
<b>ANEXO D. SISTEMAS DE SUPRESIÓN DE INCENDIOS CON AGUA PULVERIZADA, NEBULIZADA Y ESPUMA</b> .....	116
<b>ANEXO E: SISTEMAS DE COLUMNAS DE AGUA Y CONEXIONES PARA MANGUERAS</b> .....	117
<b>ANEXO F: BOMBAS ESTACIONARIA CONTRA INCENDIOS</b> .....	118
<b>ANEXO G: HIDRÁULICA PARA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS</b> .....	118
<b>ANEXO H: PROCESO DE DISEÑO Y CÁLCULO, CASOS DE ESTUDIOS Y RESULTADOS</b> .....	120

## Lista de figuras

Figura 1. Partes de un hidrante. ....	21
Figura 2. Hidrante tipo Tráfico. ....	21
Figura 3. Hidrante tipo Milán. ....	21
Figura 4. Hidrante tipo Petrolero. ....	22
Figura 5. Extinción por enfriamiento. ....	23
Figura 6. Extinción por sofocación. ....	23
Figura 7. Extinción por emulsificación. ....	23
Figura 8. Extinción por dilución. ....	23
Figura 9. Tabla K.2.1-1. NSR10. Ed. 2010. Grupos y subgrupos de ocupación. ....	26
Figura 10. Disposición representativa de un rociador automático de enlace y palanca con soldadura. ....	30
Figura 11. Rociador de pulverización estándar mostrando las diferentes disposiciones para el mecanismo de liberación. ....	31
Figura 12. Rociador semi empotrado modelo H. ....	32
Figura 13. Rociador empotrado de techo (Reliable modelo B) ....	32
Figura 14. Rociador oculto de lecho (Stargard modelo G) ....	33
Figura 15. Rociador decorativo tipo ampolla en vidrio Prussag SHF. ....	33
Figura 16. Rociador colgante seco representativo. ....	34
Figura 17. Rociador residencial representativo. ....	34
Figura 18. Rociador de gota gorda representativo. ....	35
Figura 19. Rociador vertical recubierto con cera para atmosferas corrosivas. ....	35
Figura 20. Selección representativa de rociadores de pared lateral listados mostrando varios tamaños de deflectores. ....	36
Figura 21. Rociador de pared lateral de cubrimiento extendido representativo. ....	36
Figura 22. Rociador vertical estándar con sus elementos de funcionamiento retirados. ....	37
Figura 23. Rociador automático Picker Truck. ....	38
Figura 24. Rociador de nivel intermedio. ....	38
Figura 25. Componentes básicos de un sistema de tubería húmeda (para unidades SI: 1 pulg=25.4 mm) ....	39
Figura 26. Sistema hipotético de tubo seco. ....	39
Figura 27. Sistema común de rociadores de acción previa. ....	40
Figura 28. Sistema diluvio. ....	41
Figura 29. Sistema de pulverización. ....	42
Figura 30. Muros contra fuegos. ....	43
Figura 31. Efectos del cerramiento en sistema de agua nebulizada. ....	45
Figura 32. Relación general del régimen de aplicación de espuma con el tiempo de aplicación necesario para la extinción [40.7 Lpm/m <sup>2</sup> igual a 1.0 gpm/ft <sup>2</sup> ]. ....	46
Figura 33. Pasos en la generación de espuma de aire. ....	47
Figura 34. Método de longitud real para reemplazar conexiones de manguera. ....	49
Figura 35. Método de ubicación en la salida para reemplazar conexiones de manguera. ....	49
Figura 36. Estantes para manguera y conexiones de válvulas comunes. ....	51
Figura 37. Gabinete de manguera común. ....	51

Figura 38. Bomba de incendios de turbina vertical con una transmisión en ángulo recto y un impulsor de combustión.....	52
Figura 39. Sección transversal de una bomba centrífuga multi-etapas típica. ....	52
Figura 40. Bomba de incendio vertical en línea: impelente colgante, acople cerrado de una etapa.....	53
Figura 41. Cáscara helicoidal e impulsor. ....	54
Figura 42. Dos mayores tipos de bombas de incendio. ....	55
Figura 43. Gráfica A.6.2. NFPA 20 Ed. 2019. Curvas características de la bomba.....	55
Figura 44. Curvas características de la bomba de incendios centrífuga típica. ....	55
Figura 45. Efecto del diseño del impelente sobre las curvas de descarga de cabeza para bombas de incendio. ....	56
Figura 46. Curvas de potencia de motor típicas. ....	57
Figura 47. Orificios de varias configuraciones.....	64
Figura 48. Flujo a través de un orificio estándar. ....	64
Figura 49. Tres tipos de salidas de hidrante y coeficientes de descarga. ....	65
Figura 50. Figura 19.3.3.1.1. NFPA 13. Ed. 2019. Curva densidad/área. Oficinas administrativas. Torre B. ....	70
Figura 51. Tabla 10.2.4.2.1 (a). NFPA 13. Ed. 2019. Área de cobertura máxima de protección para Riesgo Leve. ....	70
Figura 52. Tabla 10.2.4.2.1 (b). NFPA 13. Ed. 2019. Área de cobertura máxima de protección para Riesgo Ordinario.....	70
Figura 53. Tabla 10.2.4.2.1. (c). Áreas de protección y espaciamiento máximo de rociadores pulverizadores para Riesgo Extra. ....	70
Figura 54. Tabla 19.3.3.1.2. NFPA 13. Ed. 2019. Asignación del caudal de mangueras y duración de suministro de agua. Oficinas administrativas Torre B.....	71
Figura 55. Tabla 20.12.2.6. Asignación para chorros de mangueras y duración del suministro de agua. ....	71
Figura 56. Tabla 11.2.2.1.2. Área de protección y espaciamiento máximo para rociadores CMDA. ....	72
Figura 57. Tabla 13.2.5.2.1. Área de protección y espaciamiento máximo para rociadores CMSA.....	72
Figura 58. Tabla 14.2.8.2.1. Área de protección y espaciamiento máximo para rociadores ESFR.....	72
Figura 59. Tabla 5.2.4.2.2. NFPA 11. Ed. 2016. Asignación de densidad de aplicación y tiempo de suministro principal. ....	75
Figura 60. Tabla 5.2.5.2.1. NFPA 11 Ed. 2016. Número de salidas fijas de descarga de espuma para tanques de techo fijo (cónico), contenidos de hidrocarburos, combustibles e inflamables, resistentes al alcohol. ....	75
Figura 61. Tabla 5.9.2.2. NFPA 11. Ed. 2016. Definición de número de salidas requeridas. ....	75
Figura 62. Tabla 5.9.2.4. NFPA 11. Ed. 2016. Definición del tiempo mínimo de operación. ....	75

Figura 63. Tabla 1. API 2030. 2005. Elección de la densidad de aplicación para sistemas de agua pulverizada. ....	77
Figura 64. Ocupaciones establecidas en la Edificación Administrativa de Cali. ....	80
Figura 65. Bomba tipo centrifuga horizontal de carcaza partida con motor eléctrico.....	94
Figura 66. Ilustración de la altura de enfriamiento (he). ....	96
Figura 67. Bomba tipo turbina vertical.....	105

## Lista de tablas

Tabla 1. Estadísticas de incendios estructurales en Colombia entre 2015 y 2019. ....	20
Tabla 2. Coeficientes de descarga típicos de boquilla de chorro sólido. ....	65
Tabla 3. Resultados de rociadores automáticos para oficinas administrativas piso 18 Torre B. ....	81
Tabla 4. Consideraciones de rociadores automáticos para parqueaderos sótano 1 y sótano 2. ....	83
Tabla 5. Consideraciones de rociadores automáticos para Almacenamiento sótano 1, sótano 2 y piso 1. ....	85
Tabla 6. Parámetros teóricos hidráulicos para el análisis de Rociadores Automáticos. ....	88
Tabla 7. Parámetros reales hidráulicos para el análisis de Rociadores Automáticos. ....	88
Tabla 8. Consideraciones de conexiones de mangueras para edificio administrativo. ....	89
Tabla 9. Resultados de cálculos hidráulicos por requerimiento del sistema. ....	90
Tabla 10. Resultados de los calculo hidráulicos por disponibilidad. ....	92
Tabla 11. Consideraciones del sistema de agua pulverizada para el terminal del almacenamiento de líquidos. ....	95
Tabla 12. Consideraciones del sistema de espuma de baja expansión para el terminal del almacenamiento de líquidos. ....	97
Tabla 13. Resultados de cálculos hidráulicos por requerimiento del sistema. ....	98
Tabla 14. Resultados de cálculos hidráulicos por disposición del sistema. ....	100

## Lista de gráficas

Gráfica 1. Ubicación de los escenarios de incendio por requerimiento de una curva de 750 gpm a 225 psi.....	91
Gráfica 2. Ubicación de los diferentes escenarios de incendio por disponibilidad en la curva de una bomba 750 gpm a 225 psi. ....	93
Gráfica 3. Ubicación de los tanques y/o escenarios de incendios por requerimiento para una curva de 2500 gpm a 165 psi. ....	99
Gráfica 4. Ubicación de los tanques y/o escenarios de incendios por disposición para una curva de 2500 gpm a 165 psi. ....	101
Gráfica 5. Ubicación de los tanques y/o escenarios de incendios por requerimiento vs disposición para una curva de 2500 gpm a 165 psi. ....	102
Gráfica 6. Ubicación de los tanques y/o escenarios. Selección de bomba contra incendios. ....	103

## Lista de anexos

Anexo A1. Principales propiedades del agua. ....	111
Anexo B2. Edificio de oficinas.....	111
Anexo B3. Escuelas.....	111
Anexo B4. Ocupación residencial. ....	111
Anexo B5. Sala de reuniones públicas. ....	111
Anexo B6. Fábricas de conservas.....	112
Anexo B7. Planta eléctrica. ....	112
Anexo B8. Restaurantes. ....	112
Anexo B9. Lavandería.....	112
Anexo B10. Biblioteca. ....	112
Anexo B11. Talleres de reparación. ....	112
Anexo B12. Ensamble de productos en madera. ....	112
Anexo B13. Área de uso de fluidos combustibles.....	113
Anexo B14. Imprentas.....	113
Anexo B15. Tapizado con espumas de plástico. ....	113
Anexo B16. Pulverización de líquidos inflamables.....	113
Anexo B17. Procesamiento de plástico. ....	113
Anexo C18. Clasificaciones de temperatura de los rociadores automáticos. ....	114
Anexo C19. Clasificaciones de temperatura de los rociadores de acuerdo con la distancia desde la fuente de calor. ....	114
Anexo C20. Clasificaciones de los rociadores en ubicaciones específicas. ....	115
Anexo C21. Tamaños de orificio para rociadores de tamaño inferior a $K=5.6$ .....	115
Anexo C22. Tamaños de orificio para rociadores de tamaño superior a $K=5.6$ .....	116
Anexo D23. Mecanismos de extinción con agua nebulizada y su aplicación. ....	116
Anexo D24. Tipos de boquillas para generar agua nebulizada para los sistemas de supresión de incendios, con algunos ejemplos de fabricantes. ....	117
Anexo E25. Límites de presión para las bocas de salida de los sistemas de columna reguladora. ....	117
Anexo F26. Tipos de bomba y sus rangos de presión y capacidad. ....	118
Anexo G27. Diagrama de Moody.....	118
Anexo G28. Carta de longitud equivalente de tubería.....	119
Anexo G29. Coeficiente de pérdidas por fricción a partir del cambio de diámetro en la tubería.....	119
Anexo H30. Tabla 5.2.5.2.2. NFPA 11 Ed. 2016. Tiempos mínimos de descarga y régimen de aplicación para salidas fijas de descarga de espuma con hidrocarburos.....	120
Anexo H31. Tabla 5.2.5.3.4. NFPA 11 Ed. 2016. Densidad de aplicación y tiempos mínimos de descarga para tanques de techo fijo (cónico), con contenido de combustibles y líquidos inflamables, resistentes al alcohol. ....	120

## Resumen

El presente proyecto de grado tiene como finalidad la elaboración de un manual en el que se estableció las condiciones y parámetros principales de los sistemas de extinción para la protección contra incendios, con la implementación en edificaciones de diferentes usos.

Para esto, en primer lugar, se estableció una fase en la que se llevó a cabo el compendio de información que involucra la normatividad existente: NFPA, NSR10 Y NTC, en el que se establecen las especificaciones y requisitos necesarios con respecto a la protección contra incendios, apoyado en la utilización de artículos y trabajos de grado desarrollados en las diferentes universidades de Colombia, páginas web relacionadas con el tema como la de la NFPA, el Ministerio del Interior de Colombia, asesorías de especialistas, aportes de entidades representativas del sector y la empresa Enarfire Consulting SAS.

En segundo lugar, se elaboró el manual, en el que se definen los principales reglamentos y procesos en el diseño de elementos para la protección contra incendios en edificaciones con diferentes usos, para propiciar la buena práctica de la ingeniería y procurar la reducción de las afectaciones materiales y humanas. Así mismo, se presentan los dos (2) casos de estudio propuestos para evaluar la implementación de los sistemas y los resultados arrojados.

**Palabras claves:** Incendios estructurales, sistema contra incendios, manual, normatividad.

## Abstract

The present project purpose is the elaboration of a manual in which was established main conditions and criteria of the extinguishing systems, with the implementation in buildings used for different activities.

First, there was established a data compilation phase including information about current normativity: NFPA, NSR10 and NTC. Those regulations show necessary specifications and requirements about fire protection. Besides, articles and degree thesis developed by different colombian universities; websites such as "NFPA" and "Ministerio de interior de Colombia"; consultancies; representative institutions from the sector, especially Enarfire Consulting S. A. S company, were used to compile information.

On the other hand, the manual was elaborated and there are defined main rules and procedures used in the design of fire protection elements here. The manual also looks for good engineering practices and the decrease of human and material impact. Likewise, there are presented two case-studies which were proposed to test the system implementation and the results obtained.

**Key words:** Structural fire, fire protection system, manual, normativity.

## **Introducción**

Los incendios estructurales, originados en edificaciones con fines residenciales, comerciales e industriales, se pueden presentar a partir de diferentes causas tales como accidentes domésticos, manipulación inadecuada de líquidos inflamables, velas y cigarrillos mal apagados, fugas de gases combustibles o artefactos de calefacción en mal estado (ONEMI, 2019). Lo anterior, surge debido a que, en muchas ocasiones, los habitantes de estas construcciones, no son conscientes de la afectación que puede generar su utilización en el origen y propagación de conflagraciones. Es por esto, que, aunque los recintos cuenten con sistemas de protección contra incendios tanto manuales (conexiones de mangueras y gabinetes) como automáticos (rociadores automáticos, agua pulverizada y espuma de baja expansión), si no se cuenta con un conocimiento básico con respecto a su implementación, no se podrá extinguir el fuego en su totalidad; ocasionando mayores situaciones de este tipo, que para el año 2019, entre el 1 de enero y 25 de diciembre, contaba con 1375 casos.

Por otra parte, este documento nace a partir de evidenciar el desconocimiento del marco normativo en seguridad contra incendios en estudiantes y profesionales de ingeniería y arquitectura, así como en gremios asociados. Razón por la cual, dentro del marco teórico que contiene el presente manual, se realizó una amplia investigación con respecto a la normatividad vigente del tema, siendo una de ellas, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, que, en su última actualización, NSR10, incluyó los títulos J y K relacionados con protección contra incendios, ausentes en la NSR98. Con este trabajo se busca una mayor divulgación en la comunidad, para su óptima implementación y aplicación cuando sea requerido.

De igual manera, se pretende analizar los principales parámetros y normativas que se deben tener en cuenta a la hora de implementar un sistema contra incendios en edificaciones como hospitales, instituciones educativas, edificios residenciales e industriales y demás usos, buscando el control y supresión de dichos fenómenos.

Es importante aclarar que los casos de estudio aquí empleados, se desarrollaron considerando las características y necesidades a cumplir de los lugares intervenidos y la información suministrada es de uso académico exclusivamente.

Por último, los objetivos tanto general como específicos que se plantearon para el presente documento son:

### **Objetivo General:**

Desarrollar un manual para el diseño de sistemas de extinción de incendios estructurales a base de agua para uso académico.

### **Objetivos Específicos:**

- Definir los criterios de diseño de sistemas de protección contra incendios, a partir de lo establecido por normas como la NFPA, NSR-10 y NTC.

- Implementar la metodología de cálculo para el diseño de sistemas de extinción de incendios estructurales a base de agua.
- Llevar a cabo dos casos de estudio en los que se involucre cada requerimiento solicitado en un sistema de extinción.
- Dimensionar equipos de bombeo y volumen de agua necesarios para el combate de incendios.

## Antecedentes

Los sistemas de protección contra incendios es un tema que, en países como Estados Unidos, es necesario a la hora de llevar a cabo el diseño de las diferentes redes hidrosanitarias en la construcción de una edificación, teniendo como soporte la National Fire Protection Association (NFPA), que a partir del año 1896 ha creado una serie de códigos y normas, en donde se especifican los parámetros principales para el funcionamiento óptimo de dichos sistemas. Sin embargo, en otros países como Colombia, Venezuela, Paraguay, Argentina, entre otros, también se han desarrollado diferentes investigaciones acerca de la protección contra incendios y sus distintas derivaciones y aplicaciones que pueda tener.

Dentro de las investigaciones realizadas, Dorbelly y Campos (2010), llevaron a cabo el Diseño de un sistema de protección contra incendios para la Universidad Central de Venezuela, por medio de la formulación de 6 métodos de análisis de riesgo (Riesgo Intrínseco, Gretener, Índice Dow de Incendios y Explosión, Hazop, What If, Meseri), siendo este último mencionado el escogido. Dentro de los aspectos a resaltar, se encuentra, Novec 1230, el cual es un agente extintor que se utilizara, debido a su bajo costo, efectividad y a ser amigable con el medio ambiente.

En este mismo año Torrez (2010), enfoco su investigación en el sistema de protección contra incendios con el que cuenta el edificio Aquinate de la Universidad Santo Tomas de Bogotá, ubicado en la Carrera 9 N° 63-28. Dentro de su investigación encontró que los elementos principales para la extinción de una posible conflagración son mangueras y extintores, los cuales no son suficientes para la culminación de un suceso de este tipo. Lo anterior, debido a que la edificación cuenta con 4 niveles, conectados a un atrio central, por lo que, si se presenta un incendio, el humo toxico se propagaría con mayor rapidez a lo largo de toda la construcción. Como conclusión, el autor propuso que el plantel de educación superior debería cambiar el sistema manual por un sistema automático como rociadores automáticos, considerando que tiene un área de construcción de 2942.7 m<sup>2</sup>, mayor a la establecida por la NSR10 (2000 m<sup>2</sup>), además de disminuir en un 78.3% los costos que acarrearía la reconstrucción del edificio Aquinate de la Universidad Santo Tomas, sede Bogotá.

Uno de los aspectos más importantes que se debe tener en cuenta para la propagación del fuego, son los materiales empleados para la construcción de muros. Por esto, Rodríguez y Corvo (2011), realizaron una investigación en la provincia de Camagüey, Cuba, sobre la utilización del hormigón armado en dichas estructuras y la afectación que puede generar tanto en el material como en la conformación del muro, la exposición al fuego. Se encontró que la relación agua cemento deteriora a los muros, además de que a lo largo de su vida útil se exponen a altas temperaturas. Así pues, se concluyó que este material, propaga con mayor facilidad la ignición, debido a que, si se expone a temperaturas entre 300°C y 600 °C, su resistencia y módulo de elasticidad se reducen en un 50% y 80%, respectivamente.

Buscando la implementación de normas como la NFPA y la NSR10 para la propagación del riesgo de un incendio, Sotelo (2014) propone el sistema de protección más adecuado para disminuir el impacto que puede generar un incendio en la sede del Claustro de la Universidad Católica de Colombia, preservando los 4 pilares fundamentales de la ingeniería de protección contra incendios: protección de la vida humana, protección de la propiedad, continuidad de la operación y la protección al medio ambiente. El sistema escogido para dicho fin, fue los rociadores automáticos, que ofrecen un ambiente seguro a los ocupantes, además de un tanque de almacenamiento de 121 m<sup>3</sup> y una bomba contra incendio de 500 gpm.

En el año 2016, Blanco y Martínez (2016), realizaron la recopilación de los principales parámetros, que se deben tener en cuenta al diseñar un sistema de protección contra incendios, enfocándola a la parte interna de las edificaciones. Así mismo, llevaron a cabo un ejemplo práctico, evaluando paso a paso la implementación de dicho sistema, considerando los caudales, presiones, equipos y elementos necesarios para la extinción de un incendio; lo anterior basados en la NFPA y NSR10.

El uso con el que cuente las actuales edificaciones, es importante para definir la protección contra incendios más adecuada, razón por la cual Luna (2016), diseñó un sistema para que se implemente en el Teatro principal de la Pontificia Universidad Javeriana, debido a que no cuenta con una detección temprana de fenómenos como el humo que puede afectar a los más de 700 ocupantes que este alberga. Por tal razón, a la conclusión que se llegó es que se deberán instalar a lo largo de las 7 zonas del recinto, 5 tipos de detectores y 3 tipos de alarmas, con la separación indicada en la NFPA 72, para una correcta detección de incendios.

La investigación de Molano y Rodríguez (2017), se enfocó en el diagnóstico del estado actual de la red de gabinetes instalados y extintores en la Facultad tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, con base en la normatividad vigente colombiana (NTC y NSR10 y referentes de la NFPA), identificando las zonas de mayor riesgo en cuanto a la inflamabilidad que puede llegar a presentar ante un incendio. Como resultado final, se obtuvo un informe, donde se presentaba el diseño más adecuado para la detección y extinción de incendios, considerando el listado de materiales y elementos a utilizar.

Para lograr una correcta y adecuada extinción de incendios, la edificación debe contar con un tanque de almacenamiento con la capacidad suficiente. Por esto Bermeo (2017), definió los criterios necesarios, según la NFPA y el cuerpo de bomberos, evaluando además las condiciones de una bodega de almacenamiento en Ecuador, donde se pretende implementar tal estructura. Los resultados de la investigación arrojaron que la capacidad del tanque debe ser de 178m<sup>3</sup> en un tiempo de duración de 60 minutos.

Como una de las más recientes investigaciones acerca del tema, se tiene la realizada por Díaz y Rozo (2018), quienes evaluaron características como la localización, clasificación

de uso y zona de planeación, de la edificación la Quinta en la localidad de Chapinero (Bogotá), para una adecuada red contra incendios. Para la modelación y cálculos requeridos del sistema, se empleó el software EPANET, además de crear un documento técnico, en donde se consolidaron las especificaciones de materiales y técnicas a implementar, así como un manual de operación. Los resultados que arrojó la investigación es que dicha edificación debe contar con un caudal total de 1000 gpm, una presión en el punto más alejado de 84.83 mca y una combinación de válvulas de toma para bomberos y un sistema de rociadores que optimizara el sistema, debido a su uso ocupacional (Residencial).

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. CONCEPTOS BÁSICOS

**1.1.1. Emergencia:** Accidente o situación de riesgo, el cual se puede evaluar, controlar y dominar de forma sencilla y rápida por los entes correspondientes; internos si se presenta en centrales clínicas o externos si es en otro tipo de edificación. (CHUA, 2018)

- **Tipos de emergencia:** Dentro de los tipos de emergencia se encuentran: Desastres, huracanes, incendios, incendios forestales, inundaciones, gripas, oleadas de calor, terremotos y tormentas. (Cruz Roja Americana, 2020)

**1.1.2. Incendio estructural:** Se produce en cualquier tipo de edificación (casas, locales comerciales, centros comerciales, bodegas). Sus causas principales son los accidentes domésticos, fallas eléctricas y de gas, manipulación inadecuada de líquidos inflamables o la acumulación de basuras, cigarrillos o velas mal apagados. (ONEMI, 2019)

**1.1.3. Estadísticas sobre incendios estructurales en Colombia:** Según el Ministerio del Interior de Colombia y el Cuerpo de Bomberos de Bogotá, en la Tabla 1 se registran las cifras de incendios estructurales entre el año 2015 y 2019:

Tabla 1. *Estadísticas de incendios estructurales en Colombia entre 2015 y 2019.*

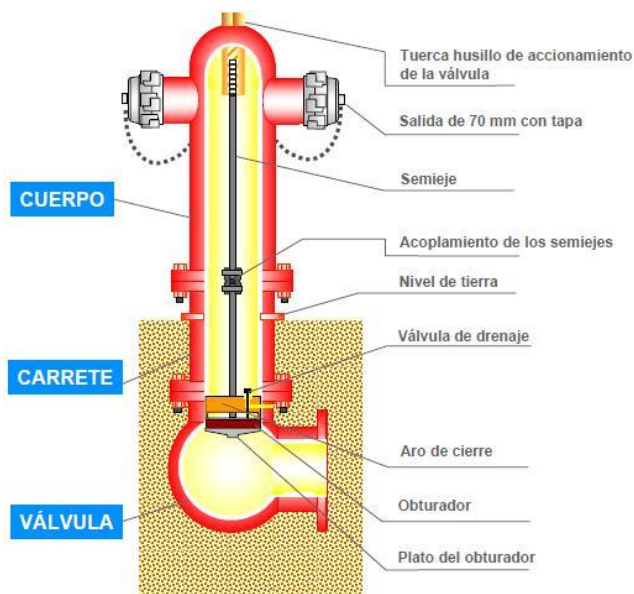
Año (01 de enero a 31 de diciembre)	Cantidad	Porcentaje
2015	1322	3.27%
2016	2242	3.23%
2017	2760	2.91%
2018 (01 de Enero a 15 de Octubre)	2657	3.11%
2019 (01 de Enero a 25 de Diciembre)	1375	2.30%

\*Datos que representan la cantidad de incendios estructurales durante los años 2015 al 2019.

**Fuente:** Elaboración propia, con base en (DNBC, 2019)

**1.1.4. Hidrante:** Es un punto de captación específica hídrica para el cuerpo de bomberos, los cuales cuentan con el caudal y presión necesaria para ser empleado en el momento que se necesite. (Ruva, 2019). La figura 1 presenta las partes que componen un hidrante.

Figura 1. Partes de un hidrante.



Fuente: Ramírez, 2016

- **Hidrante tipo Trafico:** Es instalado en zonas industriales o de alto tráfico vehicular. Sus extremos dependen de la tubería utilizada (asbesto cemento y PVC) (EMCALI, 2012). Maneja un caudal de hasta 1000 gpm y 3 salidas; 2 laterales de 2 ½” y una frontal de 4”. (Metacol, 2016). La Figura 2 representa la simbología de este tipo de hidrante.
- **Hidrante tipo Milán:** Puede ser empleado en zonas industriales, urbanas y rurales con caudales de hasta 500 gpm y cuentan con 2 salidas laterales de 2 ½”, empleados en poblaciones con menos de 200 hab/ha. (Metacol, 2016). La Figura 3 presenta la composición de este hidrante.
- **Hidrante tipo Petrolero:** Utilizado para proporcionar puntos de salida y suministro a la red hidráulica, cuenta con 2 salidas y terminal roscada de 2 ½” NPT para conectarse a la válvula. Dicha conexión a la red es bridada de 6”. (Prodeseg, 2019). En la Figura 4 se evidencia el hidrante tipo petrolero.

Figura 2. Hidrante tipo Tráfico.



Fuente: Metacol, 2016.

Figura 3. Hidrante tipo Milán.



Fuente: Metacol, 2016.

Figura 4. Hidrante tipo Petrolero.



**Fuente:** Prodeseg, 2019.

**1.1.5. Propiedades de la extinción de incendios:** Dentro de las propiedades para la extinción de incendios, Moncada y Moncada (2009) encuentra el enfriamiento, sofocación, emulsificación y dilución:

- **Extinción por enfriamiento:** Es la extinción de los incendios de combustibles sólidos por parte del agua, al enfriar la superficie de propagación del fuego. Esto se logra, una vez la pérdida de calor supera la ganancia de calor del fuego y la llama ya no subsiste en la superficie. Este líquido consigue 2.4 KJ/g a 25 °C de calor latente de evaporación. En la Figura 5, se presenta el proceso de extinción por enfriamiento.
- **Extinción por sofocación:** Aplicación de agua a una superficie caliente, formando vapor. La supresión es más efectiva si las gotas de vapor y el agua se localizan alrededor de la fuente combustible. Este proceso solo es posible cuando el líquido inflamable en llamas, tenga un punto de inflamación y gravedad mayores a 37.8°C (100°F) y a 1.0, respectivamente, y no sea soluble al agua. En la Figura 6, se presenta el proceso de extinción por sofocación.
- **Extinción por emulsificación:** Cuando líquidos inmiscibles se agitan en forma simultánea y uno de estos se dispersa a través de los otros, se genera la emulsión. El incendio se extingue, al aplicar agua relativamente gruesa y fuerte, a ciertos líquidos viscosos inflamables, enfriando sus superficies y evitando que vapores inflamables se liberen. Se debe considerar la profundidad de cada fluido porque la espuma puede propagar la combustión del recipiente que los contenga. En la Figura 7, se presenta el proceso de extinción por emulsificación.
- **Extinción por dilución:** Puede ser empleado en incendios que contengan derrames de alcohol etílico y metílico, con una mezcla adecuada de alcohol y agua para la extinción del mismo, su porcentaje varía ampliamente y no es recomendable en tanques porque la cantidad hídrica empleada se puede

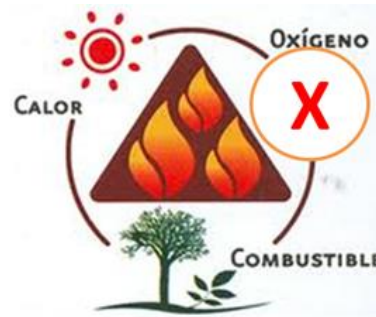
desbordar, formando espuma si la mezcla se calienta hasta su punto de ebullición. En la Figura 8, se presenta el proceso de extinción por dilución.

Figura 5. Extinción por enfriamiento.



Fuente: Satirnet, 2014.

Figura 6. Extinción por sofocación.



Fuente: Satirnet, 2014.

Figura 7. Extinción por emulsificación.



Fuente: Satirnet, 2014.

Figura 8. Extinción por dilución.



Fuente: Satirnet, 2014.

**1.1.6. Supresión a base de agua:** Este método es uno de los más comunes dentro de la supresión, con un mayor énfasis en los sistemas de rociadores automáticos, considerados por la NFPA y la comunidad de Ingeniería de protección contra incendios, contando con una confiabilidad del 90% y un largo ciclo de vida, además de un sencillo mantenimiento y bajo costo. (Moncada y Moncada, 2009)

- **Agua:** Es el agente de extinción de incendios más común y disponible sobre la superficie terrestre, debido a que no es tóxica, relativamente no corrosiva y, sobre todo, estable y segura para la vida humana. Una de las ventajas del agua como agente extintor, es que al aplicarse no afecta a los ocupantes que estén dentro de la edificación, mientras que, si se emplearan agentes de tipo gaseoso, puede provocar asfixia.

- **Propiedades del agua:** Dentro de las principales propiedades del agua se encuentra rangos de temperatura, densidad, energía y volumen, como se especifican en la sección de anexo A1.
- **Fuentes de presión:** Moncada y Moncada (2009), enuncia que son fuentes de cabeza de presión, encontradas por lo general en sistemas hidráulicos destinados a la protección contra incendios.
  - **Gravedad (Tanques elevación, embalses, tuberías verticales):** La elevación de la superficie de suministro hídrico por encima del punto más bajo, el cual es conocida como cabeza. Se puede medir en pies (ft) o por lectura de presión manométrica.
  - **Bombeo:** En este caso, la cabeza hace referencia a la combinación de presión de descarga de la bomba, además de cualquier diferencia, con respecto a la elevación, entre la descarga manométrica de la bomba y el punto más bajo.
  - **Neumático (Tanques de presión):** Presión de aire del tanque que sea combinada con cualquier diferencia en cuanto a la elevación entre la superficie de la descarga manométrica de la bomba y el punto más bajo.
  - **Combinación:** Con respecto a las fuentes de presión anteriores, se puede presentar cualquier combinación.

#### 1.1.7. Normatividad para la protección contra incendios:

- **National Fire Protection Association (NFPA):** Es una asociación creada en el año 1896, por un grupo de expertos, cuyo principal fin es la protección de vidas humanas y bienes materiales, de los efectos que puede provocar un incendio, por medio de Códigos Nacionales contra incendios, convirtiéndose en la entidad mundial más importante, en lo que respecta a la seguridad eléctrica, de edificaciones y contra conflagraciones. Por otra parte, se encuentra presente en más de 100 países y con más de 50.000 representantes y de contar con varias traducciones de sus códigos a idiomas como el castellano, francés, árabe, japonés y chino.  
 Algunas de las normas que se han publicado son NFPA 11 (Norma para sistemas de espumas de baja, media y alta expansión) NFPA 13 (Norma para la instalación de rociadores automáticos), NFPA 14 (Norma para la instalación de gabinetes o conexiones de mangueras), NFPA 15 (Norma para sistemas de rociadores de agua pulverizada) NFPA 16 (Norma para sistemas de rociadores agua espuma), NFPA 20 (Norma para bombas estacionarias contra incendios), NFPA 22 (Norma para instalación de tanques para uso contra incendios), NFPA 24 (Norma para la instalación de sistemas privados de incendios), NFPA 25 (Norma para inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios a base de agua). Sin embargo, es

importante resaltar que para el desarrollo de este proyecto serán de mayor empleo y utilidad las normas o códigos NFPA 13, NFPA 14, NFPA 15, NFPA 16 y NFPA 20. (NFPA, 2020)

- **NFPA 11 (Norma para sistemas de espumas de baja, media y alta expansión):** Esta norma surgió en el año 2002. Su propósito principal es dar a conocer el procedimiento de diseño, inspección, prueba y mantenimiento de equipos fijos, semi fijos o portátiles de espuma en diferentes proporciones consiguiendo la extinción de incendios en exteriores o interiores. (NFPA 11, 2016)
- **NFPA 13 (Norma para la instalación de rociadores automáticos):** Esta norma surgió en el año 1896, como respuesta a las prácticas de instalación deficientes de sistemas de rociadores, por parte de los plomeros de la época, debido a que en ese momento existían 9 métodos para el diseño e implementación de los mismos; con la realización de 2 códigos más, denominados NFPA 13D (Instalación de sistemas de rociadores en viviendas unifamiliares, bifamiliares y prefabricadas) y NFPA 13R (Instalación de sistemas de rociadores en ocupaciones residenciales de hasta cuatro pisos de altura), publicadas en 1975 y 1989, respectivamente. Su principal objetivo, era brindar metodologías para la protección contra incendios en lugares que hasta el momento no lo tenían; deduciendo así, que la NFPA 13 tenía su intención en la preservación de la propiedad o edificación y la de la NFPA 1D y 13R, era la preservación de la seguridad humana. (NFPA 13, 2019)
- **NFPA 14 (Norma para la instalación de gabinetes o conexiones de mangueras):** Esta norma fue publicada en el año 1978. Su propósito principal es proporcionar y establecer los requisitos necesarios para la instalación de tuberías verticales y mangueras, con el fin de garantizar la funcionalidad de los sistemas y suministros hídricos adecuados y seguros para la extinción de una conflagración si se llega a presentar. (NFPA 14, 2019)
- **NFPA 15 (Norma para sistemas de rociadores de agua pulverizada):** Esta norma fue publicada en el año 1969. Su propósito principal es establecer los requisitos mínimos para la protección contra incendios, mediante sistemas fijos de agua pulverizada, teniendo en consideración los datos de prueba, principios de ingeniería y experiencia en campo. (NFPA 15, 2019)
- **NFPA 20 (Norma para bombas estacionarias contra incendios):** Esta norma fue publicada el 9 de agosto de 1996 como Norma Nacional Estadounidense. NFPA (2019). Su principal razón está en la protección de la vida y propiedad, proporcionando requisitos para la selección e instalación de bombas, con el fin de que los sistemas funcionen de manera adecuada según el diseño con el que cuenten, suministrando el agua de fuentes confiables para ser utilizada en caso de la presencia del incendio. (NFPA 20, 2019)

## 1.2.CLASIFICACIÓN DE OCUPACIÓN, RIESGO Y MERCANCÍA

**1.2.1. Clasificación de ocupación:** En la Figura 9, se presenta la clasificación de ocupación de edificaciones de diferentes usos.

Figura 9. Tabla K.2.1-1. NSR10. Ed. 2010. Grupos y subgrupos de ocupación.

Grupos y Subgrupos de ocupación	Clasificación
<b>A</b>	<b>ALMACENAMIENTO</b>
A-1	Riesgo moderado
A-2	Riesgo bajo
<b>C</b>	<b>COMERCIAL</b>
C-1	Servicios
C-2	Bienes
<b>E</b>	<b>ESPECIALES</b>
<b>F</b>	<b>FABRIL E INDUSTRIAL</b>
F-1	Riesgo moderado
F-2	Riesgo bajo
<b>I</b>	<b>INSTITUCIONAL</b>
I-1	Reclusión
I-2	Salud o incapacidad
I-3	Educación
I-4	Seguridad pública
I-5	Servicio público
<b>L</b>	<b>LUGARES DE REUNIÓN</b>
L-1	Deportivos
L-2	Culturales y teatros
L-3	Sociales y recreativos
L-4	Religiosos
L-5	De transporte
<b>M</b>	<b>MIXTO Y OTROS</b>
<b>P</b>	<b>ALTA PELIGROSIDAD</b>
<b>R</b>	<b>RESIDENCIAL</b>
R-1	Unifamiliar y bifamiliar
R-2	Multifamiliar
R-3	Hoteles
<b>T</b>	<b>TEMPORAL</b>

**Fuente:** Título K. NSR10, 2010.

**1.2.2. Clasificación por riesgo:** La NFPA 13 realizó una clasificación de 3 niveles de riesgo: riesgo ligero, riesgo ordinario y riesgo extra; teniendo en cuenta que para los 2 últimos casos existe una subdivisión de Grupo 1 y Grupo 2; lo anterior, para identificar las características de varias edificaciones frente a un incendio. (NFPA 13, 2019)

- **Riesgo ligero:**
  - ❖ Edificios de oficinas
  - ❖ Escuelas
  - ❖ Ocupaciones residenciales
  - ❖ Sitios para reuniones públicas

**Nota:** Ver imágenes en la sección Anexo B2 a Anexo B5, las cuales representan las ocupaciones de Riesgo Ligero.

- **Riesgo ordinario:**
  - ❖ Fábricas de conservas (Grupo 1)
  - ❖ Plantas eléctricas (Grupo 1)
  - ❖ Restaurantes (Grupo 1):
  - ❖ Lavanderías (Grupo 2):
  - ❖ Bibliotecas (Grupo 1):
  - ❖ Talleres de reparación (Grupo 2):
  - ❖ Ensamble de productos en madera (Grupo 2):

**Nota:** Ver imágenes en la sección Anexos B6 a Anexo B12, las cuales representan las ocupaciones de Riesgo Ordinario.

- **Riesgo extra:**
  - ❖ Área de uso de fluidos combustibles (Grupo 1)
  - ❖ Imprentas [tintas con un punto de inflamación inferior a 38 °C (100 °F)] (Grupo 1)
  - ❖ Tapizado con espumas de plástico (Grupo 1)
  - ❖ Pulverización de líquidos inflamables (Grupo 2)
  - ❖ Procesamiento de plásticos (Grupo 2)

**Nota:** Ver imágenes en la sección Anexo B13 a Anexo B17, las cuales representan las ocupaciones de Riesgo Extra.

### 1.2.3. Clasificación de mercancías:

- ❖ **Clase I:** Son productos no combustibles, se encuentran en recipientes corrugados con o sin divisores de cartón de un solo espesor y que son almacenados sobre estibas o palés de madera. Su principal producto son las jarras de vidrio.
- ❖ **Clase II:** Son productos no combustibles, colocados en cajones con listones de madera, cajas de madera sólida, materiales de embalaje combustibles equivalentes o cajas de cartón corrugado con capas múltiples, con o sin pales.
- ❖ **Clase III:** Emplea productos como tela de fibra natural, papel y madera o plásticos del grupo C en cajas o contenedores de cartón con o sin pales; también debe contar con una cantidad limitada de plásticos del Grupo A o B (5% o menos por peso de plástico no expandido o 5% o menos por volumen de plástico expandido), o debe considerar una mezcla de plásticos expandidos y no expandidos del Grupo A, contenidos en cajas o contenedores de cartón o que estén expuestas.
- ❖ **Clase IV:** Productos con o sin pales, que cumplan los siguientes requisitos:
  - Puede conformarse por plásticos del Grupo B o Grupo A de flujo libre.

- Para plástico del Grupo A no expandidos debe contener más del 5% hasta el 15% de peso del plástico, empacados en cajas de cartón o en contenedores de madera, mientras que los productos expandidos contienen más del 5% hasta el 25% del volumen del mismo, empacados en los mismos recipientes de los no expandidos.
- Cuando los plásticos están expuestos deben contener más del 5% hasta el 15% del volumen del plástico del Grupo A no expandido.
- Al contar con una mezcla de plásticos expandidos y no expandidos del Grupo A, en cajas de cartón o contenedor, debe cumplir con la figura 20.4.3.3. (a) y para plásticos expuestos con la misma mezcla, deben cumplir con la figura 20.4.3.3. (b)

❖ **Grupo A:** Los materiales que hacen parte de este grupo son:

- Acrílico
- Caucho butilo, natural y de nitrilo
- Nailon
- Policarbonato
- Poliéster
- Polietileno
- Polipropileno
- Poliuretano
- PVC

❖ **Grupo B:** Los materiales que hacen parte de este grupo son:

- Caucho de cloropreno
- Plásticos fluorados
- Caucho de siligacona

Los plásticos del Grupo A y del Grupo B, pueden ser también de Clase IV.

❖ **Grupo C:** Los materiales que hacen parte de este grupo son:

- Plásticos fluorados
- Melamina
- PVC
- PVDC
- PVDF
- Urea

Los plásticos del Grupo C, pueden ser también de Clase III.

- ❖ **Almacenamiento de llantas:** Puede aplicarse en autobuses de pasajeros, camiones livianos y pesados, equipos agrícolas, tráilers, equipos de construcción y aeronaves.
- ❖ **Almacenamiento de rollos de papel:** Se encuentran las siguientes clasificaciones:
  - **Clase peso pesado:** Papel con peso base de 1000 ft<sup>2</sup> (93 m<sup>2</sup>) de 20 lb (9.1 Kg)
  - **Clase peso medio:** Papel con peso base de 1000 ft<sup>2</sup> (93 m<sup>2</sup>) de 10 lb a 20 lb (4.5 Kg a 9.1 Kg).
  - **Clase peso liviano:** Papel con peso base de 1000 ft<sup>2</sup> (93 m<sup>2</sup>) de 10 lb (4.5 Kg)
  - **Clase papel tisú:** Incluye el papel crepe, servilletas y papel sanitario.

### 1.3.ROCIADORES AUTOMÁTICOS

Los rociadores automáticos son mecanismos con termosensibilidad que reaccionan a temperaturas predeterminadas, liberando un chorro de agua y distribuyéndose en áreas específicas, consiguiendo la extinción del incendio cuando los rociadores manuales convencionales no cubren la capacidad requerida. Para su instalación, se utiliza un sistema de tuberías elevadas y cada rociador se coloca en intervalos a lo largo de la misma. (NFPA 13, 2019)

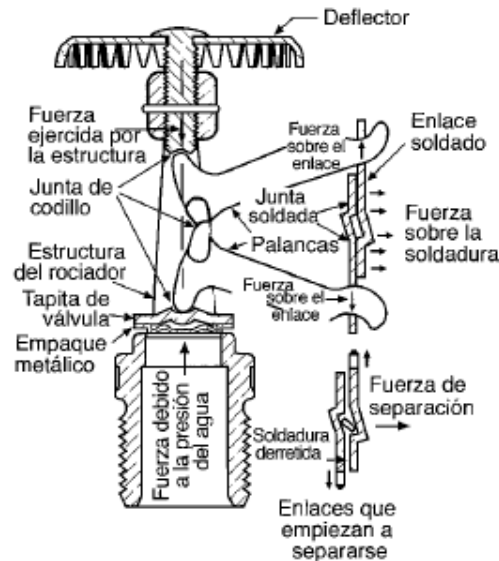
**1.3.1. Elementos de funcionamiento:** La descarga hídrica por parte de un rociador automático, se restringe por medio de una tapa o válvula, apretada contra el orificio, empleando dispositivos de liberación (palancas o enlaces), oprimiendo hacia abajo y asegurándolos en los apoyos del rociador. (NFPA 13, 2019)

- ❖ **Rociador fusible:** Los rociadores automáticos manejan aleaciones fusibles optimas de plomo, cadmio, bismuto y estaño. Al combinarse 2 metales, el punto de fusión es menor al que genera un solo metal; tal proceso se conoce como “eutéctica”. Además, utilizan combinaciones de miembros soldados para mantener cerrado el rociador.
- ❖ **Rociadores de ampolla:** Consta de una pequeña ampolla de vidrio, con un líquido en su interior, dejando una burbuja de aire, que se comprime y absorbe por dicho liquido cuando se expande el calor de la ignición. Al desaparecer la burbuja, la presión aumenta, rompiendo la ampolla y liberando la válvula. La temperatura se regula a partir de la cantidad de líquido y el tamaño de burbuja de la ampolla.
- ❖ **Otros elementos termo sensibles:** Para lograr la descarga automática se utilizan discos bimetálicos, pellets de aleación fusible y pellets químicos.
- ❖ **Dinámica de los rociadores:** La fuerza mecánica de un rociador mecánico, se ejerce en la parte superior de su válvula o tapa, debido a la presión del agua en la parte inferior, que elimina las fugas. En un rociador de palanca, dicha fuerza se

produce al apretar el tornillo que sostiene al deflector contra la junta del codo que forman las palancas. La potencia resistida por la soldadura es baja porque su composición se atiene a un caudal frío bajo de alta tensión, con el fin de otorgar las adecuadas temperaturas para su funcionamiento.

En la Figura 10, se muestra las partes convencionales que componen un rociador automático.

Figura 10. Disposición representativa de un rociador automático de enlace y palanca con soldadura.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

- ❖ **Diseño del deflector:** Al estar contra el rociador, envía el chorro de agua que se pulveriza para proteger el área afectada. La presión del caudal y el tamaño del orificio, determinan la cantidad de agua a descargar. Un patrón de pulverización adecuado es 48 Kpa (7 psi); por tal razón, un orificio nominal de 1/2" (12.7 mm) con un orificio con  $K=5.6$ , cuenta con una descarga de 58 L/min (15 gmp) o un orificio nominal de 17/32" (13.5 mm) con un orificio  $K=8.0$ , alcanza una descarga de 79 L/min (21 gmp). Cuando los rociadores automáticos se encuentran alejados de la zona de abastecimiento hídrico, la presión de suministro de agua debe estar entre 316 a 690 Kpa (30 a 100 psi).

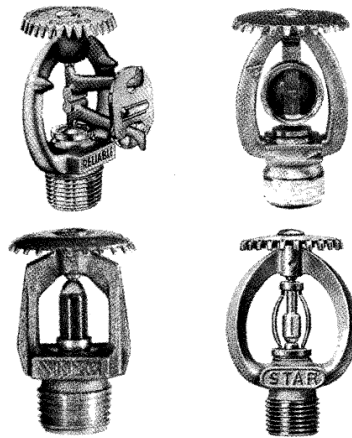
Para los rociadores verticales y colgantes, se tiene que con un orificio de  $K=5.6$ , la distribución hídrica llega al exterior de un círculo de diámetro de 16 pies (4.9 m).

- 1.3.2. Clasificaciones de temperatura de los rociadores automáticos:** A partir de esta clasificación se establece que el valor mínimo de temperatura del cielo raso es de 100 °F, de clasificación ordinaria, sin color o de color negro en su código y color

naranja o rojo en el vidrio de la ampolla del rociador automática, mientras que el máximo es 625 °F, de clasificación ultra alta, con código de color naranja y negro en el vidrio de la ampolla. En los anexos C18, C19 Y C20, se observa las temperaturas y ubicaciones específicas de los rociadores automáticos. (Ver anexos C18, C19 y C20)

**1.3.3. Rociadores automáticos estándar:** Los rociadores convencionales y por pulverización utilizan el mismo mecanismo de liberación; sin embargo, sus deflectores, se diferencian en cuanto a las características de descarga. (NFPA 13, 2019). Ver en la Figura 11 su representación.

Figura 11. Rociador de pulverización estándar mostrando las diferentes disposiciones para el mecanismo de liberación.



\*En sentido de las manecillas del reloj, el primer rociador en la parte superior izquierda es el modelo de enlace y palanca de enlace fusible; a continuación, un modelo recolector de calor perforado; luego un modelo de apoyadero central con soldadura bajo compresión y por ultimo un modelo de ampolla frágil.

**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

El deflector de los rociadores estándar es similar a los de media esfera de pulverización hídrica. Los rociadores se diseñan de manera vertical o colgante, y no puede ser alterada. Así mismo, se creó un deflector doble para que sea utilizado como rociador vertical por pulverización estándar.

- **Rociadores semi empotrados:** Rociador de techo, que se instala con un encaje para empotrar, a excepción de la conexión a la tubería. Además, su funcionamiento se asemeja mucho a los rociadores colgantes. Representación visualizada en la Figura 12.

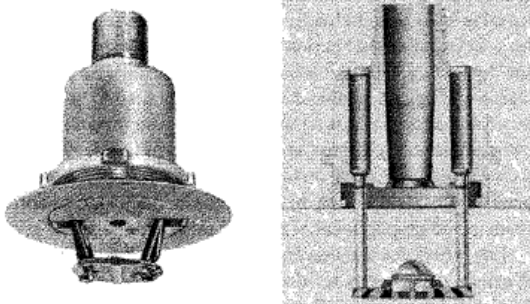
Figura 12. Rociador semi empotrado modelo H.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

- **Rociadores empotrados:** Es instalado en el techo y utilizado cuando la apariencia del rociador es importante. Su diseño especial lo hace actuar por debajo del cielo raso, sin afectar la distribución hídrica ni la sensibilidad por el calor. En lugares de bajo riesgo, por estética el diseño del rociador y del techo son combinados siendo el deflector el que realiza la descarga por si se presenta un incendio. En la Figura 13, se presenta un rociador empotrado.

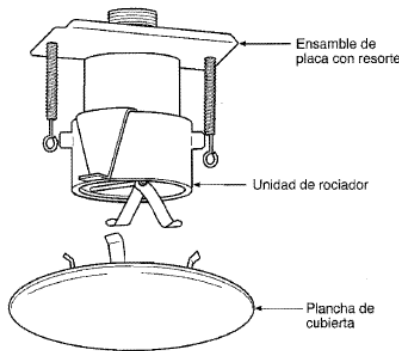
Figura 13. Rociador empotrado de techo (Reliable modelo B)



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

- **Rociadores ocultos:** Es un rociador de techo, cuya estructura completa y su funcionamiento, están ubicados por encima de la plancha de la cubierta, así cuando ocurra un incendio, esta plancha caiga y el deflector proceda a la descarga. En la Figura 14, se observa las partes que lo componen.

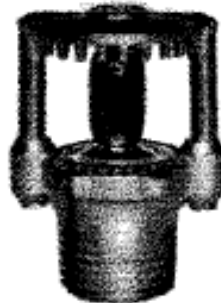
Figura 14. Rociador oculto de lecho (Stargard modelo G)



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

- **Rociadores ornamentales:** Rociadores enchapados o esmaltados, únicamente por orden del fabricante, para hacer juego con el acabado de la superficie, el cual no debe afectar el funcionamiento ni distribución hídrica del mismo. De acuerdo con la NFPA 13 son de instalación colgante. La Figura 15, muestra uno de los tipos de rociador ornamental.

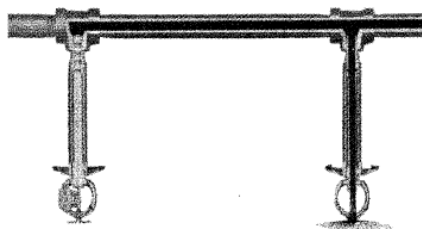
Figura 15. Rociador decorativo tipo ampolla en vidrio Prussag SHF.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

- **Rociadores colgantes secos y verticales secos:** Utilizados en lugares sin calefacción propia como los frigoríficos, donde los rociadores son alimentados por tubería húmeda ascendente o descendente ubicada en el exterior del área a proteger, pero sin agua en su interior para evitar daños. Por otra parte, se debe colocar un sello en la entrada del rociador, para que la descarga hídrica se realice cuando este se active. La composición de este rociador, se muestra en la Figura 16.

Figura 16. Rociador colgante seco representativo.

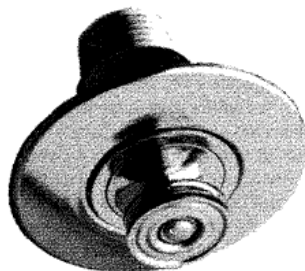


**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

- 1.3.4. Rociadores para condiciones especiales de servicio:** Son empleados en situaciones y lugares con condiciones especiales. Por ejemplo, los rociadores de pared lateral usan patrones especiales para la distribución hídrica y en otros casos, al tener temperaturas atípicas o atmósferas corrosivas los rociadores deben ser con un diseño y construcción especial. (NFPA 13, 2019)
- **Rociadores residenciales:** Gracias a sus enlaces fusibles o ampollas de poca masa, la actuación por temperatura se hace de manera más rápida que con un rociador convencional. Su descarga es diferente a la de los rociadores por pulverización, con un espacio de techo a cubrir de 457 mm (18 pulg). El caudal empelado es inferior a los de pulverización, debido a su funcionamiento rápido y el patrón de humedecimiento en paredes altas. En la Figura 17 se observa el rociador convencional utilizado en edificaciones de uso residencial.

Cuando la vivienda sea unifamiliar o de poca altura, se deben considerar la NFPA 13D y NFPA 13R; según lo indique la NFPA 13.

Figura 17. Rociador residencial representativo.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

- **Rociadores de gota gorda:** Son rociadores especiales con un factor nominal  $K_m=160$  ( $K= 11.2$ ). Su deflector es de diseño especial y con una descarga mayor que produce gotas gordas a una velocidad y tamaño suficiente, permitiendo que el chorro penetre la corriente ascendente si es necesario. Puede observarse su representación en la Figura 18.

Figura 18. Rociador de gota gorda representativo.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

- **Rociadores de abertura y cierre automático (On-Off Sprinklers):** Cuentan con 2 mecanismos de funcionamiento independiente. 1). El enlace es muy similar al de un rociador estándar y 2). Tiene un disco y válvula de acción rápida que se activan con el calor. Estos 2 mecanismos, se activan cuando se presenta un incendio y la temperatura aumenta, una vez esta disminuya, la válvula detecta el descenso en la presión y automáticamente se detiene el caudal de agua.
- **Rociadores para condiciones corrosivas:** Las pruebas realizadas contra la corrosión de rociadores automáticos son: 1). Recubrimiento completo con cera con un punto de fusión ligeramente inferior al de la temperatura que tiene el rociador para su funcionamiento, 2. Recubrimiento con la combinación de plomo y cera en la estructura completa del rociador y sus palancas, protegiendo los elementos fundibles. Otros recubrimientos pueden ser cera, asfalto, plomo, cera sobre plomo y asfalto sobre plomo, y recientemente el poliéster, esmalte y teflón, pero queda a disposición del fabricante su uso. La Figura 19, muestra la forma de este tipo de rociador.

Figura 19. Rociador vertical recubierto con cera para atmosferas corrosivas.

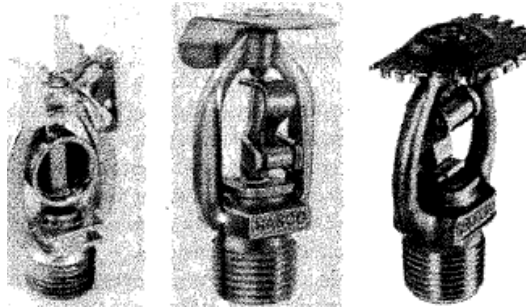


**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

- **Rociadores de pared lateral:** Su deflector es especial, en cuanto a la descarga de agua hacia cualquier dirección, con un patrón parecido a un cuarto de esfera. Se instalan vertical u horizontal, entre el empalme del cielo raso y la pared lateral,

en lugares de ocupaciones ligeras, como oficinas educativas, comedores, vestíbulos de hoteles, de protección especial o donde no queden bien a la vista de las personas. En la Figura 20 se puede observar su representación.

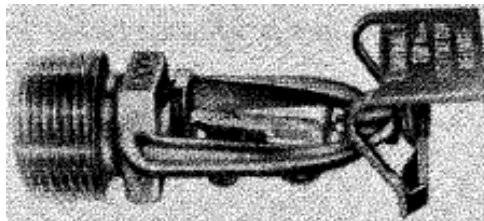
Figura 20. Selección representativa de rociadores de pared lateral listados mostrando varios tamaños de deflectores.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

- **Rociadores de pared lateral de cubrimiento extendido:** Se instalan en posición horizontal. Su cubrimiento y presión hídrica, es mayor a los rociadores de pared lateral convencionales, pero al igual que estos, son empelados en lugares que buscan una estética homogénea en su interior. La Figura 21 muestra la composición de este tipo de rociador.

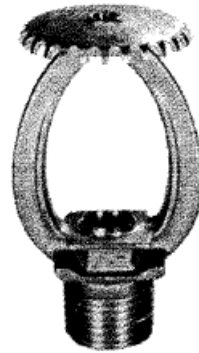
Figura 21. Rociador de pared lateral de cubrimiento extendido representativo.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

- **Rociadores abiertos:** Los rociadores automáticos que no cuentan con una tapa de válvula y elementos sensibles al calor, son empleados cuando el abastecimiento hídrico es controlado por una válvula de maniobra hídrica automática e independiente a los rociadores automáticos. A partir del área a proteger, se diseña un patrón de densidad de descarga y agua distribuida. La estructura de este tipo de rociador se observa en la Figura 22.

Figura 22. Rociador vertical estándar con sus elementos de funcionamiento retirados.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

- **Rociadores de orificios grandes y pequeños:** Son utilizados con orificios de rociadores distintos a ½” (K=5.6). Al contar con una descarga y un orificio pequeño, mayor o menor a Km=80 (K=5.6), convienen para proteger áreas específicas. Si tienen un orificio de tamaño amplio y descarga de 18 (L/min) /m<sup>2</sup> (0.45 gpm/pie<sup>2</sup>), asumirán una capacidad mayor. Para no alterar los cálculos hidráulicos, el tamaño del orificio debe ser el adecuado, si se requiere reemplazar.
- **Rociadores por pulverización con diferentes tamaños de orificios:** El tamaño del orificio determina el caudal, teniendo en cuenta la presión establecida. Por lo que se debe calcular el factor K, mediante la siguiente formula:

$$Q = K * \sqrt{P} \quad (1)$$

Donde:

*Q*: Caudal en L/min

*K*: Constante del caudal

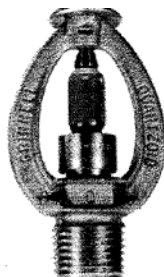
*P*: Presión en bar (psi)

En el caso del rociador por pulverización, tiene un factor K=5.6 (Km=80).

**Nota:** Las tablas Tamaños de orificio para rociadores de tamaño inferior a K=5.6 y Tamaños de orificio para rociadores de tamaño superior a K=5.6, se encuentran en la sección Anexo C21 y Anexo C22, respectivamente.

- **Rociadores Picker Trunk:** Cuenta con un deflector liso y pequeño, el cual disminuye la recolección de fibra y pelusa al interior de los conductos y son removidos por el movimiento del aire. Al tener un fraccionamiento del chorro de agua y no estar obstruido, su distribución no es igual a la de otros rociadores. La Figura 23 muestra cómo se compone este tipo de rociador.

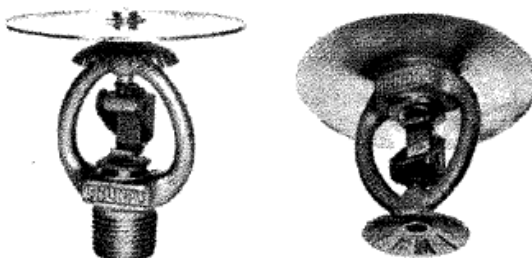
Figura 23. Rociador automático Picker Truck.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

- **Rociadores de nivel intermedio:** También conocidos como rociadores en estantería. Protege el ensamble termosensible con discos grandes contra el chorro de rociadores que se encuentran ubicados en la parte superior, debido a que, si el agua de estos últimos entrara en el rociador del nivel inferior, el deflector termosensible se enfriaría y no funcionaría óptimamente. La representación del rociador fr nivel intermedio, se observa en la Figura 24.

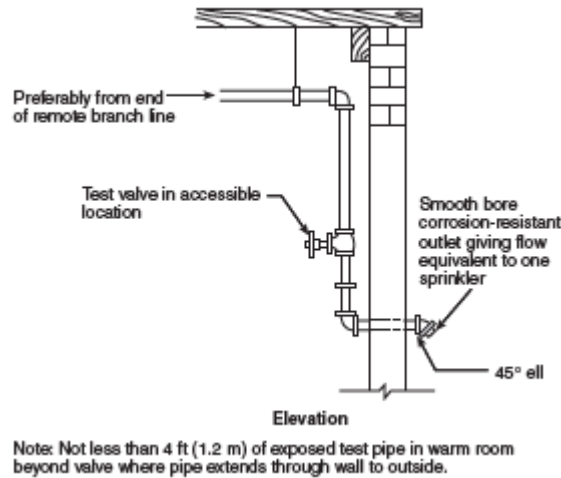
Figura 24. Rociador de nivel intermedio.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

- 1.3.5. Sistemas de rociadores automáticos:** Se clasifica en 4 categorías: De tubería húmeda, tubería seca, de acción previa y de diluvio. (NFPA 13, 2019)
- **Sistema de tubería húmeda:** Es de fácil diseño, instalación y mantenimiento. Este sistema contiene agua bajo presión constantemente y series de rociadores cerrados, por eso cuando ocurre un incendio con suficiente temperatura, se activan los rociadores, obteniendo un abastecimiento automático hídrico y una descarga por parte de los rociadores abiertos. Su economía y alta eficiencia lo convierte en una buena elección, pero no puede ser expuesto a temperaturas inferiores a 4° C (40 °F). La Figura 25, presenta la composición del sistema de tubería húmeda.

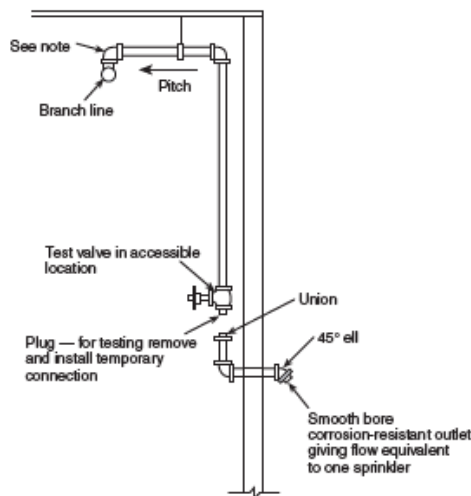
Figura 25. Componentes básicos de un sistema de tubería húmeda (para unidades SI: 1 pulg=25.4 mm)



**Fuente:** Handbook NFPA 13, 2016.

- Sistema de tuberías seca:** Su funcionamiento radica en una diferencial de presión, en donde el área de la superficie del lado del aire de la válvula es mayor al del agua. En caso de un incendio, los rociadores se activan, la presión de aire desciende y la válvula de tubería seca, permite el paso del agua hacia los rociadores abiertos. Por su retardo en el suministro hídrico hacia los rociadores, su diseño es especial, requiriendo una fuente de suministro confiable de aire. Se recomienda su uso en temperaturas por debajo 4° C (40 °F). La representación de un sistema de tubería seca, se observa en la Figura 26.

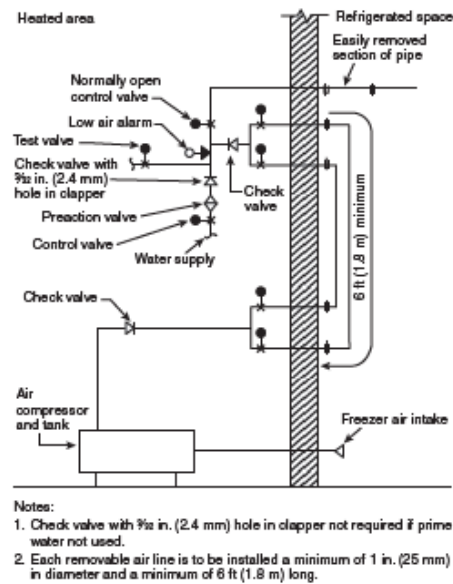
Figura 26. Sistema hipotético de tubo seco.



**Fuente:** Handbook NFPA 13, 2016.

- Sistema de acción previa:** Cuenta con una válvula de acción previa que capta el abastecimiento hídrico y con un sistema de detección suplementario, que abre la válvula de manera automática y da paso a que la red interior de la tubería reciba el agua. En este sistema, interviene la presión del agua y del aire, debido a que en el primer caso se evalúa y la integridad de la tubería y en el segundo caso, si esta llegase a faltar se activa una alarma para dar a conocer su ausencia. La Figura 27, muestra las partes que componen este tipo de sistema.

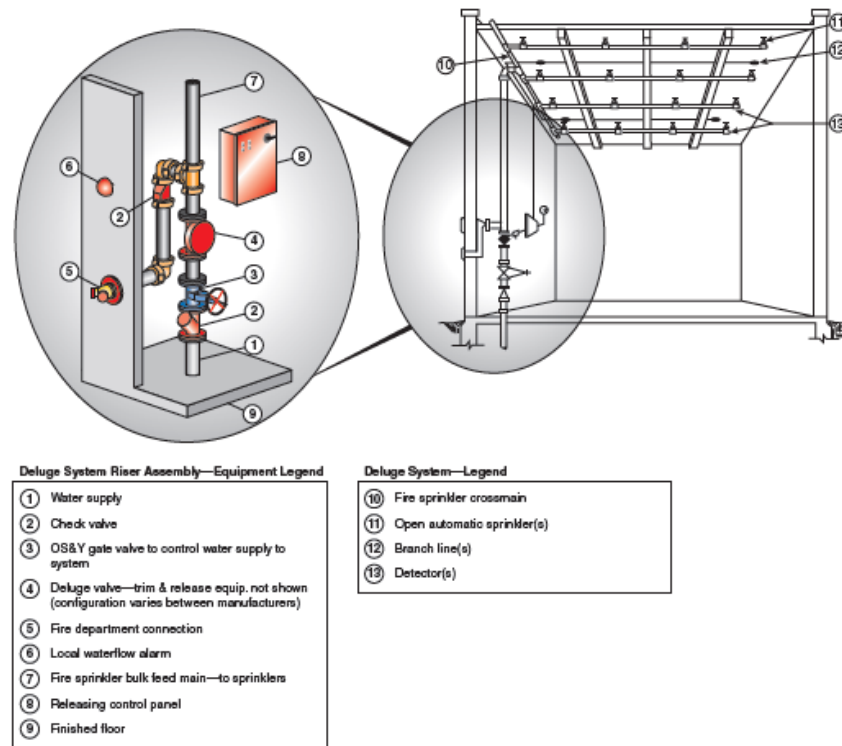
Figura 27. Sistema común de rociadores de acción previa.



**Fuente:** Handbook NFPA 13, 2016.

- Sistemas diluvio:** Empleados en incendios de propagación rápida, con materiales altamente combustibles y que provocan daños térmicos en poco tiempo. Los rociadores son de tipo abierto, con una válvula diluvio, la cual controla el abastecimiento hídrico de su tubería, activada mediante un sistema de detección de incendios suplementario, descargando una gran cantidad de agua sobre las áreas requeridas en un corto tiempo. En la Figura 28, se observa la representación del sistema diluvio.

Figura 28. Sistema diluvio.



Fuente: Handbook NFPA 13, 2016.

## 1.4.SISTEMAS DE SUPRESIÓN DE INCENDIOS CON AGUA PULVERIZADA, NEBULIZADA Y ESPUMA

**1.4.1. Protección mediante la pulverización de agua:** La pulverización es la descarga en forma circular o elíptica de agua por medio de boquillas o elementos diseñados, los cuales generan un tamaño de partícula, patrón densidad y velocidad predeterminada. Dicho patrón debe compensar las corrientes de agua y condiciones de viento, así como tener un gran impacto en la sección que va a proteger.

Las boquillas cuentan con tapones y válvulas que se remueven cuando el sistema de diluvio pulverizante se active, además de ayudar a eliminar la corrosión atmosférica de la tubería del mismo. (NFPA 15, 2017). La Figura 29, presenta un espacio al aire libre, siendo protegido por el sistema de pulverización de agua.

Figura 29. Sistema de pulverización.



**Fuente:** Juez, 2015.

- **Aplicaciones de los sistemas de pulverización de agua:** Buscan la protección de los siguientes materiales o equipos: Materiales combustibles ordinarios como madera, textiles y papel, que extinguen mas no controlan el fuego; Gases y líquidos inflamables, que controla los incendios y extingue los que pueden involucrar combustibles líquidos; Bandejas y tendidos abiertos de cables que tienen tuberías o cables eléctricos; Instalaciones de equipos eléctricos, así como interruptores de aceite, maquinas giratoria eléctricas y transformadores y Tanques de gases y líquidos inflamables, equipos de procesamiento y estructuras, que son protegidos de los incendios por exposición.
- **Sistemas fijos de pulverización de agua:** Es conectado a un suministro hídrico seguro y confiable, que cuenta con boquillas pulverizantes, distribuyendo descargas de agua uniformemente sobre el área a proteger. Su conexión, se realiza por medio de una válvula de diluvio, que se activa tanto automática (detectores de calor, detectores de gas y circuitos reveladores) como manualmente (neumáticos o sistemas hidráulicos variando con respecto a las válvulas independientes). Según el tipo de riesgo y el fin de la instalación, se define el tipo de pulverización.

Los usos que tiene son:

- ❖ Protección del equipamiento de incendios, expuestos en tanques, equipos de gas y tuberías y líquidos inflamables.
- ❖ Equipos eléctricos como interruptores de aceite, bandejas de cables, transformadores y maquinas giratorias.
- ❖ Aberturas en muros contrafuegos, sistemas transportadores y en pisos que sean atravesados por incendios.

La Figura 30, muestra la composición estructural que debe tener un muro corta fuego.

Figura 30. Muros contra fuegos.



**Fuente:** Synistor, 2016.

**1.4.2. Sistema de supresión de incendios con agua nebulizada:** Las aplicaciones que tiene este sistema son: (NFPA 15, 2017)

- ❖ Espacios para maquinaria
- ❖ Cerramientos de turbinas
- ❖ Alojamiento marítimo, espacios públicos y áreas de servicio
- ❖ Hoteles, edificios de patrimonio histórico y galerías
- ❖ Cuartos de equipos eléctricos, cuartos de computadoras y áreas de flujo laminar vertical
- ❖ Túneles
- ❖ Compartimentos de pasajeros en aeronaves

• **Resumen de las características de los sistemas de agua nebulizada**

❖ **Según los objetivos:**

1. Protección de vidas humanas y propiedades en un compartimiento, contra el fuego externo.
2. Controlar temperaturas del incendio en el compartimiento afectado, evitando una combustión y daños en sectores cercanos.
3. Extinguir los incendios Clase A y Clase B.
4. Donde no exista protección, emplear el agua para cubrir tal proceso (compartimientos de pasajeros en aeronaves).
5. Reemplazar el uso de CO<sub>2</sub> por agua.
6. Diseñar los sistemas de rociadores con tuberías más pequeñas garantizando una seguridad equivalente.

❖ **Según los escenarios de incendio:**

1. Incendios exteriores que se propagan al interior de un compartimiento.

2. Incendios a la intemperie o en compartimientos por pulverización, derrame o charcos, en donde actúan combustibles de hidrocarburo líquido.
3. Combustibles Clase A en compartimientos pequeños.
4. Incendios de combustibles líquidos con poca ventilación y compartimientos para maquinaria.
5. Espacios para maquinaria grande con buena ventilación, obstrucciones e incendios graduales.

❖ **Según los detalles del sistema:**

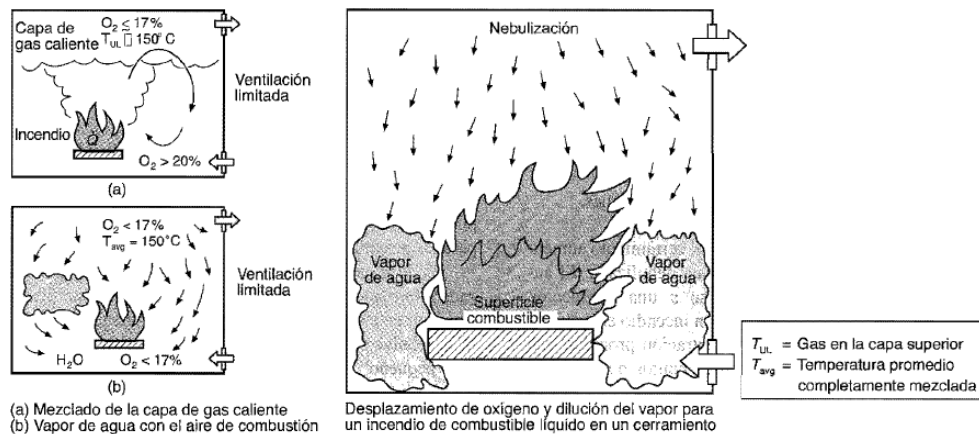
1. Sistemas de presión baja a alta: 75 psi a 2000 psi (5 bar a 140 bar).
2. Sistemas de fluido sencillo y doble.
3. Boquillas abiertas, sistemas tipo diluvio y sistemas de detección independiente para activación.
4. Boquillas cerradas y activadas térmicamente.
5. Descargas continuas y cortas que se repitan.

❖ **Según los niveles de aceptación:**

1. Protocolos de pruebas contra incendios como evaluaciones sobre la efectividad de la supresión y sus componentes por parte de la International Maritime Organization (IMO) y que sea aprobado por autoridades marítimas nacionales e internacionales.
2. Aprobación de FM Global Research de sistemas diseñados para cerramientos de turbinas en compartimientos de dimensiones máximas fijas, evaluando el desempeño, los efectos del agua sobre el equipo que se protege, el proceso de detección/activación y caudal.
3. Componentes del sistema: bombas, boquillas cilindros de gas, activadores, equipos y válvulas de control de presión y sistemas de detección; cumpliendo la prueba IMO, Underwriters Laboratories Inc. (UL) o Fm Global Research.
4. Aprobación de sistemas de agua nebulizada en tierra: Módulos de procesos industriales, edificios de patrimonio histórico y hoteles.
5. Seguimiento en las especificaciones de la NFPA 750 (Norma sobre sistemas de protección contra incendios con agua nebulizada), con respecto a los materiales y componentes a utilizar.

La Figura 31 muestra cómo se presenta un cerramiento de agua pulverizada con e fin de combatir la conflagración.

Figura 31. Efectos del cerramiento en sistema de agua nebulizada.

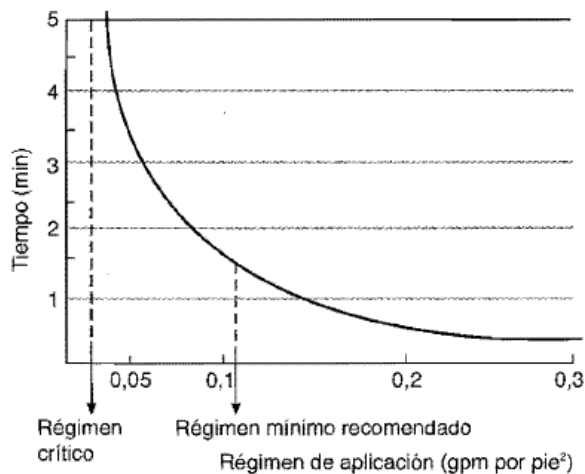


Fuente: Moncada y Moncada, 2009.

- **Principios generales de los sistemas de agua nebulizada:**
  - **Mecanismos de extinción:** En el anexo D23, se encuentran los mecanismos de extinción de agua nebulizada y su principal aplicación.
  - **Características del agua nebulizada para la supresión de incendios:**
    - Distribución del tamaño de las gotas.
    - Densidad del Flujo.
    - Impulsión del chorro.
    - Aditivos. (NFPA 15, 2009)
  - **Mecanismos para generar agua nebulizada:** Los tipos de boquillas para generar agua nebulizada, se encuentran especificados en el anexo D24.
- 1.4.3. **Sistemas y agentes de extinción de espuma:** La espuma es un agregado de burbujas de gas (aire), formadas por soluciones acuosas de agentes espumantes concentrados líquidos. Las espumas se dividen de acuerdo a su relación de expansión: Espuma baja expansión (0-20), Espuma media expansión (20-200) y Espuma alta expansión (200-1000). Los usos de la espuma de baja expansión, son detener y disminuir los vapores inflamables sólidos y líquidos que no arden y que se acumulan en cerramientos, mientras que las espumas de media y alta expansión son usadas en compartimientos, como áreas de cuartos de sótanos o bodegas de barcos, donde no es fácil extinguir el incendio. (NFPA 16, 2019)
- **Tipos de espuma:**
  - ❖ Agentes de espuma formadores de película acuosa
  - ❖ Agentes de espuma de fluoroproteína
  - ❖ Agentes de fluoroproteína formadores de película

- ❖ Agentes espumantes de proteína
  - ❖ Agentes espumantes de baja temperatura.
  - ❖ Agentes espumantes tipo alcohol
  - ❖ Agentes de espuma de media y alta expansión
  - ❖ Otros agentes de espuma surfactantes de hidrocarburos sintéticos
  - ❖ Espumas para la supresión de vapor
  - ❖ Agentes y polvo de espuma química.
- **Consideraciones para la utilización de espumas:**
    1. Con una aplicación más suave, la extinción es más rápida y el agente requerido será menor.
    2. La funcionalidad de la espuma depende del régimen en términos de la cantidad por volumen que alcanza la superficie en combustión. Con una expansión 8:1, un régimen de aplicación de 4.1 Lpm/m<sup>2</sup> (0.1 gpm/ft<sup>2</sup>), que proporcionara 32.8 L/m<sup>2</sup> (0.8 gpm/ft<sup>2</sup>) de espuma terminada por minuto.
    3. El régimen de aplicación mínimo recomendado es la tasa de pruebas más practica en términos de velocidad de control y cantidad de agente. La siguiente curva ilustra la relación régimen tiempo para la aplicación de espuma. En la Figura 32, se muestra la gráfica que relaciona el Régimen mínimo recomendado (gpm/ft<sup>2</sup>) para la aplicación de espuma y el tiempo de aplicación (min), para conseguir la extinción del fuego.

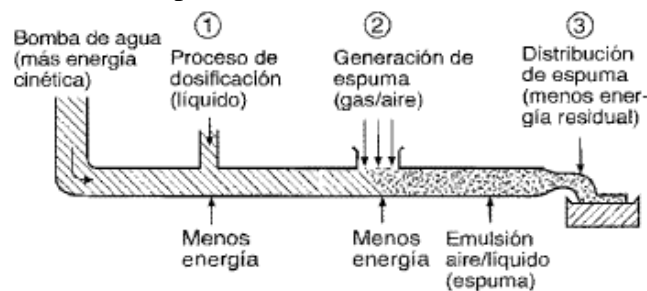
Figura 32. Relación general del régimen de aplicación de espuma con el tiempo de aplicación necesario para la extinción [40.7 Lpm/m<sup>2</sup> igual a 1.0 gpm/ft<sup>2</sup>].



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

4. Las espumas de aire son más estables cuando se generan con agua dulce o salada a temperatura ambiente: 1.7 a 27 °C (35 a 80 °F).
  5. Cuando el aire contiene productos de combustión, las espumas se afectan negativamente en su funcionamiento.
  6. Evaluar los rangos de presión recomendados para los dispositivos de formadores de espuma. Su calidad se disminuirá si estos límites se superan.
  7. Por agentes de extinción líquidos vaporizados y productos químicos secos, se afectan las espumas de aire.
- **Métodos para generar espuma:** Para combatir incendios en riesgo, el proceso de producción y aplicación de espumas de aire, se requieren 3 operaciones: 1) Proceso de dosificación, 2) Fase de generación de espuma y 3) método de distribución. En la Figura 33, se presenta gráficamente los pasos para la generación de espuma de aire.

Figura 33. Pasos en la generación de espuma de aire.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

## 1.5.SISTEMAS DE COLUMNAS DE AGUA Y CONEXIONES PARA MANGUERAS

Conocidos también como sistemas de columna reguladora, cuentan con tubería fija y equipos que transportan agua desde un abastecimiento confiable hasta las áreas a proteger y donde se despliegan mangueras para extinguir el fuego. (NFPA 14, 2019)

- 1.5.1. Proceso de diseño:** Se determina a partir del uso que se pretenda satisfacer en 3 procesos:
- Combate de incendios a escala real.
  - Combate de incendios de primeros auxilios.
  - Combinación de los 2 anteriores.

Los usos mencionados corresponden respectivamente a 3 clases que pueden ordenar o afectar el abastecimiento de agua requerido, el tendido y componentes del sistema. (NFPA 14, 2019)

- **Sistema Clase I:** Es de uso exclusivo de los bomberos. Proveen conexiones de manguera de 64 mm (2 ½”) en lugares específicos para combatir incendios. Son empleados en edificaciones con más de tres pisos por encima o por debajo del nivel de tierra o en centros comerciales, debido al tiempo y la dificultad al tender las mangueras del carro de bomberos hasta los pisos afectados. Su funcionamiento es manual.
  - **Sistema de Clase II:** Sus conexiones de manguera son de 38 mm (1 ½”) en lugares que combaten incendios de primeros auxilios. En cada conexión de la manguera, se instalan una manguera, una boquilla y un estante. Suelen emplearse en edificios grandes sin rociadores o áreas de riesgo especial como salas de exhibición y escenarios. Pueden ser utilizados por brigadas contra incendios o por los mismos ocupantes de la edificación, pero los bomberos son los principales en usarlos. Su funcionamiento es automático.
  - **Sistema de Clase III:** Es la combinación de los sistemas Clase I y Clase II, que combaten incendios a escala real y de primeros auxilios. Lo puede utilizar desde los ocupantes de la edificación hasta las brigadas contra incendios. Las válvulas de manguera pueden cambiarse de 38 mm (1 ½”) a 64 mm (2 ½”) y viceversa. Se emplea cuando no existe ningún propósito de utilidad independiente.
- 1.5.2. Tipos de sistemas:** Además de estar subdivididos por usos y clases, los sistemas de columna reguladora también cuentan con una clasificación tipo que determina si la tubería estará húmeda o seca y si el abastecimiento será automático, semiautomático o manual. (NFPA 14, 2019)
- **Sistemas húmedos automáticos:** Su tubería está llena de agua en todo momento con un abastecimiento automático que suministra la demanda hídrica necesaria para combatir el incendio.
  - **Sistemas secos automáticos:** La tubería está contenida de aire presurizado, se utilizan por medio de una válvula de tubo seco, con el fin de permitir el paso del agua al interior de la tubería, una vez la válvula se abra y el abastecimiento sea el adecuado para la extinción del fuego.
  - **Sistemas secos semiautomáticos:** Su tubería puede o no contener aire presurizado. Se utiliza una válvula de diluvio para su disposición y permitir el paso de agua por la tubería, al operar un dispositivo remoto de activación, que se ubica en la estación de la manguera. También suele ser utilizado un abastecimiento hídrico preconectado para suministrar la demanda requerida.
  - **Sistemas secos manuales:** La tubería está llena de aire y como tal el sistema no cuenta con un abastecimiento de agua preconectado, por lo tanto, es indispensable

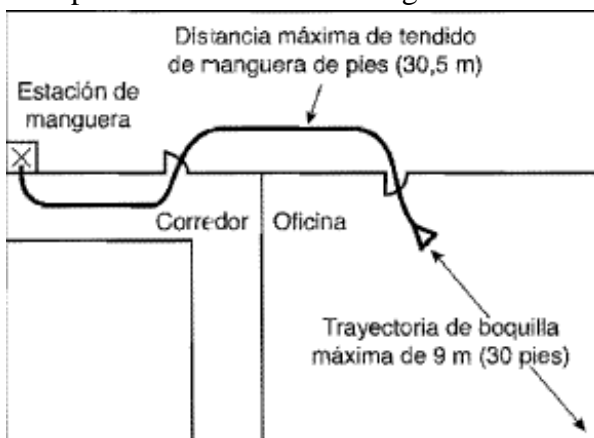
una conexión del cuerpo de bomberos para manualmente suministrar el agua y extinguir el incendio.

- **Sistemas húmedos manuales:** Su tubería está contenida de agua, facilitando la detección de escapes. Se abastece por medio de una conexión pequeña de agua doméstica, que no alcanza a suplir la demanda para combatir el fuego, por lo que se requiere de la intervención del cuerpo de bomberos para tal fin.

### 1.5.3. Disposición del sistema:

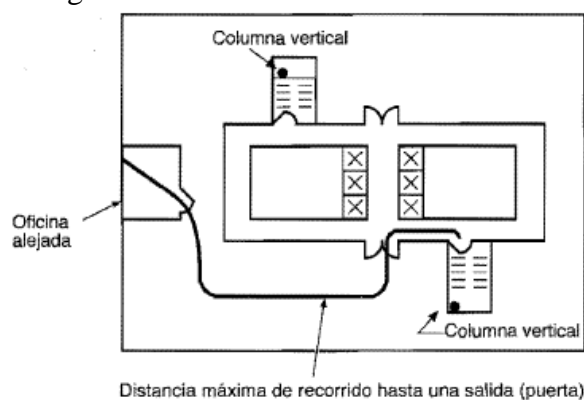
- **Cantidad y emplazamiento de las conexiones de manguera:** Emplean 2 enfoques para establecer los emplazamientos para las conexiones de manguera:
  1. **Longitud real:** Solo es utiliza para conexiones de manguera de 38 mm (1 ½”), en sistemas Clase II y III. Se localizan todas las conexiones suficientes para proteger las áreas en cuestión, con una manguera de 30.5 m (100 ft) y una boquilla de 6 a 9 m (20 a 30 ft).
  2. **Método de ubicación en la salida:** Para conexiones de manguera de 64 mm (2 ½”), en sistemas de Clase I y III, ubicándolas en escaleras de salida, pasadizos de salida y salidas horizontales, debido a que cuentan con una distribución razonable dentro de las edificaciones. En la Figura 34, se observa la metodología de longitud real para reemplazar conexiones de mangueras y en la Figura 35 se observa cómo se debe ubicar la salida para reemplazar dichas conexiones.

Figura 34. Método de longitud real para reemplazar conexiones de manguera.



Fuente: Moncada y Moncada, 2009.

Figura 35. Método de ubicación en la salida para reemplazar conexiones de manguera.



Fuente: Moncada y Moncada, 2009.

- ### 1.5.4. Requisitos para el abastecimiento de agua y la tubería:
- Se deben tener en cuenta 3 aspectos para el abastecimiento de agua:

- **Tasa de flujo mínima y presión mínima (Demanda del sistema):** Este proceso tiene las siguientes variables:
  1. Tasa de flujo y presión requeridas para las conexiones más alejadas hidráulicamente.
  2. Tasas de flujo necesarias para las columnas reguladoras adicionales.
  3. Requisitos de abastecimiento hídrico para rociadores automáticos con tubería en común.
  4. Pérdidas de presión por fricción y cambios de elevación entre el abastecimiento hídrico y la conexión de manguera más alejada hidráulica.

Para Clase I y III, la tasa de flujo o caudal de suministro por cada salida, de acuerdo con la NFPA 14, debe ser de 976 L/min (250 gpm) y una presión de 690 kPa (100 psi). En el caso de la Clase II, el caudal debe ser de 379 L/min (100 gpm) y una presión de 448 kPa (65 psi).

**Nota:** Ver sección Anexo E25, en el que se presentan los límites de presión de salidas de columnas reguladoras

- **Tipo y cantidad de los abastecimientos de agua:** Los sistemas de columna reguladora manuales, se abastece por medio de una conexión del cuerpo de bomberos con una fuente confiable, accesible, suficiente y sobre todo cercana. Para los sistemas semiautomáticos y automáticos, se necesita un abastecimiento hídrico preconectado que suministre la demanda hidráulica requerida. Estos tipos de abastecimiento pueden ser:
  1. Sistemas de acueducto público, respaldados por una bomba cuando se requieran presiones más altas.
  2. Bombas de incendios conectadas con una fuente hídrica confiable y fija.
  3. Los tanques a presión y por gravedad.

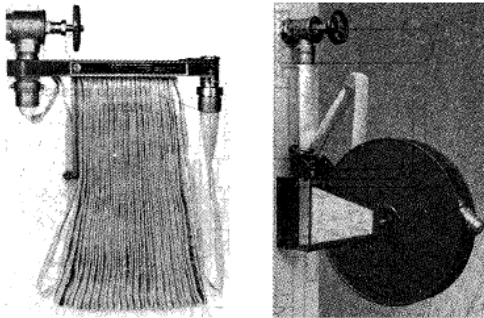
#### 1.5.5. Componentes del sistema:

- **Tuberías y accesorios:** Tubos de acero ensamblados con juntas soldadas, accesorios de bridas, accesorios con empaque de goma, accesorios atornillados o combinación de los mismos, son los elementos de configuración de los sistemas de columna reguladora. Deben soportar 1207 kPa (175 psi) o la presión máxima necesaria; hasta 2069 kPa (300 psi), los accesorios deben ser listados o extragruesos y para mayores a esta, su diseño debe ser especial. (Moncada y Moncada, 2009)
- **Mangueras, estantes de mangueras, boquillas y gabinetes de manguera:** Para sistemas de Clase II y III, se utilizan mangueras forradas, el tamaño recomendado es el de 38 mm (1 ½”), estando sujeto a cambios por parte de la

autoridad competente, con el fin de que los mismos ocupantes de la edificación afectada puedan utilizarlo. Su longitud generalmente es de 30.5 m (100 ft), para fácil manipulación. Deben estar equipadas con boquillas abiertas de 3/8" o 1/2" (10 o 13 mm) o con un patrón combinado de pulverización y chorro sólido, así mismo como contar con una presión de 345 kPa (50 psi), cumpliendo con la demanda de presión.

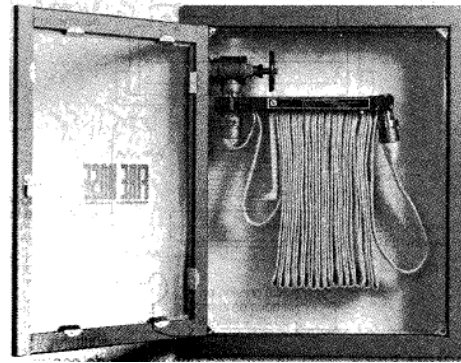
En las Figuras 36 y 37 se presenta la composición de los estantes y gabinetes para la disposición de mangueras y válvulas que combatirán un incendio.

Figura 36. Estantes para manguera y conexiones de válvulas comunes.



Fuente: Moncada y Moncada, 2009.

Figura 37. Gabinete de manguera común.



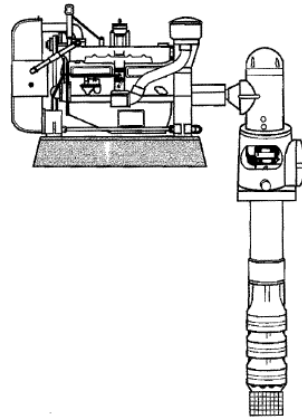
Fuente: Moncada y Moncada, 2009.

- **Válvulas:** Los sistemas de columna reguladora pueden utilizar diferentes tipos de válvulas: válvulas de compuerta, válvulas reguladoras de presión, válvulas de manguera y válvulas de retención. Debe soportar la presión máxima, de igual manera que las tuberías y accesorios.

## 1.6.BOMBAS ESTACIONARIA CONTRA INCENDIOS

Estas bombas se usan en su mayoría para incrementar y proveer la presión hídrica, disponibles en suministros principales, embalses, tanques de gravedad y otras fuentes. En la actualidad, la bomba de incendio estándar es centrifuga horizontal, debido a su fácil mantenimiento, características hidráulicas, turbinas de vapor y motores eléctricos. Una de sus características más importantes es la relación de presión de descarga a velocidad constante, al momento de aumentar la presión y disminuir la descarga. (NFPA 20, 2019). En la Figura 38 se presenta la bomba de turbina vertical, empleada para abastecer al sistema de agua cuando ocurra un incendio.

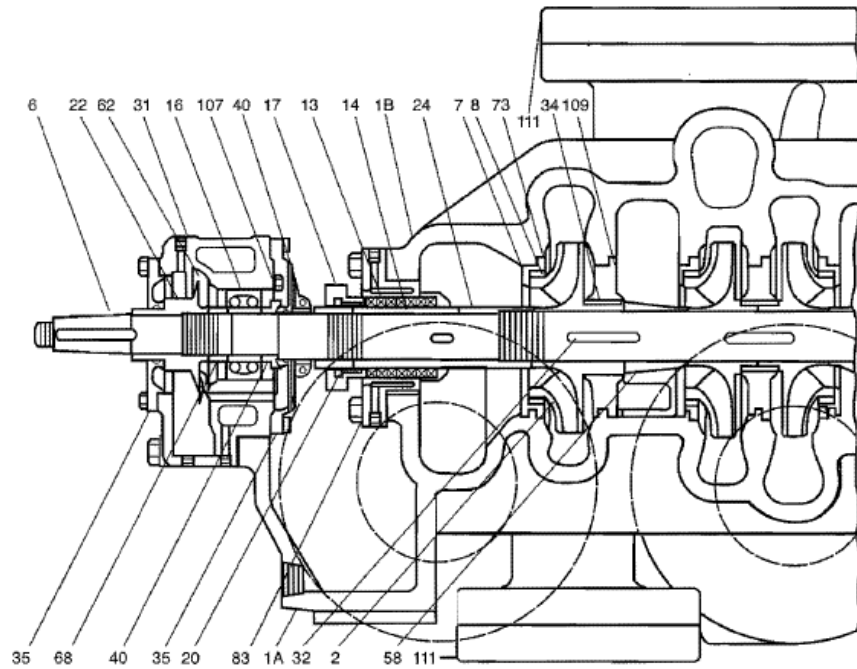
Figura 38. Bomba de incendios de turbina vertical con una transmisión en ángulo recto y un impulsor de combustión.

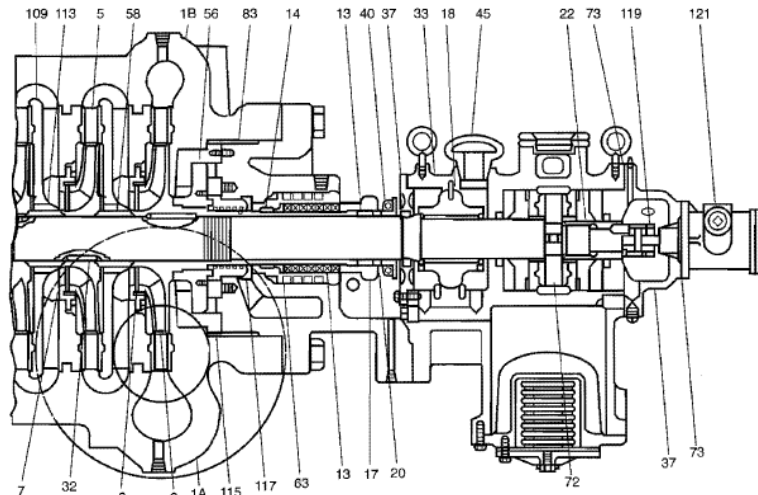


**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

Otros tipos de bomba utilizadas para la extinción de incendios, son las bombas multi-etapa, que se evidencian en la Figura 39.

Figura 39. Sección transversal de una bomba centrífuga multi-etapas típica.





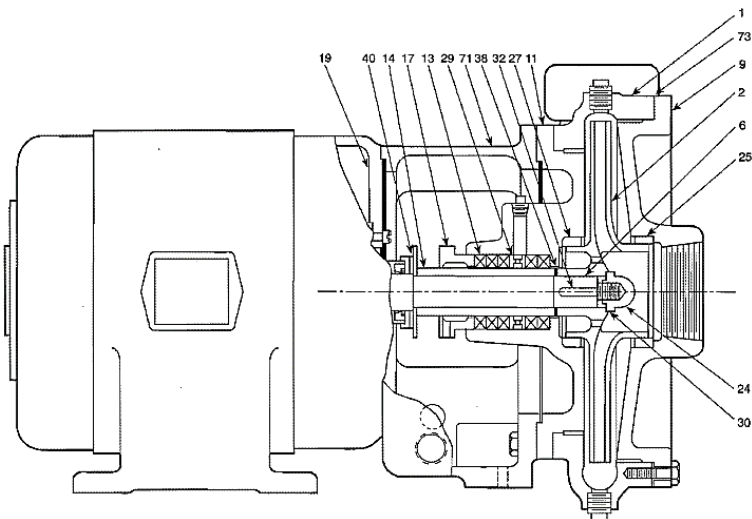
- |                            |                                      |   |                                      |
|----------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| 1A Carcasa, Mitad inferior | 17 Collarín                          | 37 Cubierta, Balinera, Hacia afuera     | 83 Sello del eje                     |
| 1B Carcasa, Mitad superior | 18 Rodamiento, Externo               | 40 Deflector                            | 107 Escudo, Retenedor de aceite      |
| 2 Impulsor                 | 20 Tuerca, Impulsor                  | 45 Cubierta, Aceite, Tapa de rodamiento | 109 Diafragma, Entre-etapas          |
| 5 Difusor                  | 22 Contratuerca, Balinera            | 56 Disco o Tambor, Balanceo             | 111 Transición, Entre-etapas         |
| 6 Eje, Bomba               | 24 Tuerca, Impulsor                  | 58 Manga, Entre-etapas                  | 113 Cojinete, Diafragma entre-etapas |
| 7 Anillo, Carcasa          | 31 Embalaje, Rodamiento, Interno     | 62 Tirador (Aceite o Grasa)             | 115 Anillo, Contrapeso               |
| 8 Anillo, Impulsor         | 32 Llave, Impulsor                   | 63 Cojinete, Sello del eje              | 117 Cojinete, Reducción de presión   |
| 13 Embalaje                | 33 Embalaje, Rodamiento, Externo     | 68 Cuello, Eje                          | 119 Acople, Bomba de aceite          |
| 14 Manga, Eje              | 34 Manga, Cubo del impulsor          | 72 Cuello, Impulso                      | 121 Bomba, Aceite                    |
| 16 Rodamiento, Interno     | 35 Cubierta, Balinera, Hacia adentro | 73 Empaquetadura                        |                                      |

**Fuentes:** Moncada y Moncada, 2009.

\*Ver sección Anexo F26, en el que se muestra los tipos de bombas, presión y capacidad disponible.

**1.6.1. Tipos de bombas:** Las bombas de incendio centrifugas horizontales son de cubierta hendida, verticales en línea o de succión terminal. En la Figura 40, se presenta la composición de una bomba vertical en línea.

Figura 40. Bomba de incendio vertical en línea: impelente colgante, acople cerrado de una etapa.



1 Carcasa  
2 Impelente  
6 Eje  
9 Cubierta, succión  
11 Cubierta, Sello del eje  
13 Embalaje  
14 Manga, eje

17 Collarín  
19 Armazón  
24 Tuerca, impelente  
25 Anillo, cubierta de succión  
27 Anillo, cubierta de sello  
29 Anillo, linterna

30 Empaquetadura, tuerca del impelente  
32 Llaves, impelente  
38 Empaquetadura, Mana del eje  
40 Deflector  
71 Adaptador  
73 Empaquetadura

**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

**1.6.2. Accesorios de la bomba:** Una bomba debe contar con dispositivos auxiliares para un correcto funcionamiento y un suministro hídrico para la protección de incendios. Estos elementos pueden ser:

- **Válvula de alivio:** Se utilizan sobre la línea de descarga de la bomba cuando su operación sea de presión excesiva y su tasa no funcione en la extinción del fuego.
- **Válvula de manguera:** Considerando un diámetro de 2 ½" (64 mm), basado en un flujo de 250 gpm (946 L/min), utilizadas en pruebas de bombas y chorros de manguera de protección de incendios. Esta válvula se ubica en un lugar externo al cuarto de bombas, evitando daños hidráulicos.
- **Válvulas de liberación automática del aire:** Instaladas sobre la cascara de la bomba y son operadas con control remoto o automáticamente. Su función es liberar el aire atrapado en la cascara y minimizar su cavitación.
- **Válvulas de alivio de circulación:** Instaladas en bombas que operan a control remoto o automáticamente. Cuando hay una pequeña o ninguna descarga, abre a presión ligeramente para que exista la suficiente agua, evitando el sobrecalentamiento de la bomba. No recomendada al ser operada por maquinas diésel por el uso de agua fría.

**1.6.3. Principios de operación:** Las bombas centrifugas cuentan con 2 componentes, un disco más conocido como impelente y una cascara dentro de la cual rota, como se presenta en la Figura 41.

Figura 41. Cáscara helicoidal e impulsor.

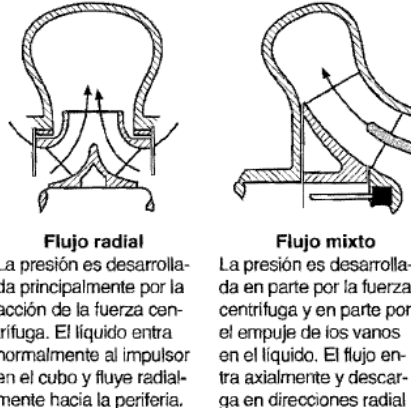


**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

Su funcionamiento radica en la conversión de la energía cinética a energía de presión y velocidad y depende del tipo de flujo de bomba; flujo radial y flujo mixto.

La potencia del impulsor se transmite por medio del eje que gira el impelente a alta velocidad. La evaluación de la presión en estos dos tipos de flujo se presenta en la Figura 42.

Figura 42. Dos mayores tipos de bombas de incendio.



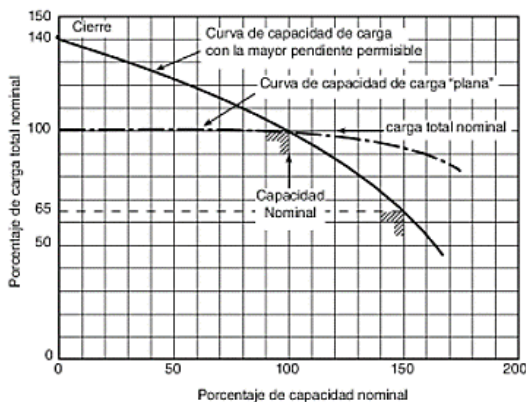
**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

**1.6.4. Curvas características de la bomba:** Las bombas centrífugas horizontales o tipo turbina vertical cuenta con las siguientes curvas características:

1. Cabeza total vs descarga (ft o psi vs gpm).
2. Caballaje de freno vs descarga.
3. Eficiencia vs descarga (hp de agua/ hp de entrada vs gpm).

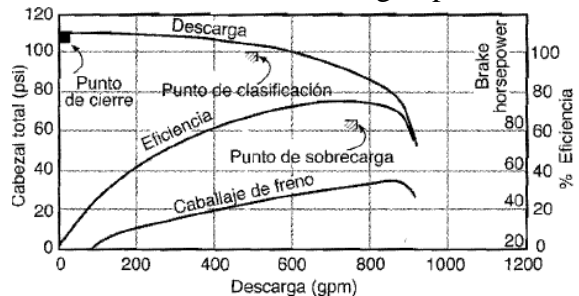
Las figuras 43 y 44 muestran las curvas mencionadas, empleadas para una bomba de 500 gpm, 100 psi y 2000 rpm, la cual es impulsada por una maquina diésel con un impelente de 14". Asi como la Figura 45 evidencia el efecto del diseño impelente sobre curvas de descarga para bombas contra incendios.

Figura 43. Gráfica A.6.2. NFPA 20 Ed. 2019. Curvas características de la bomba.



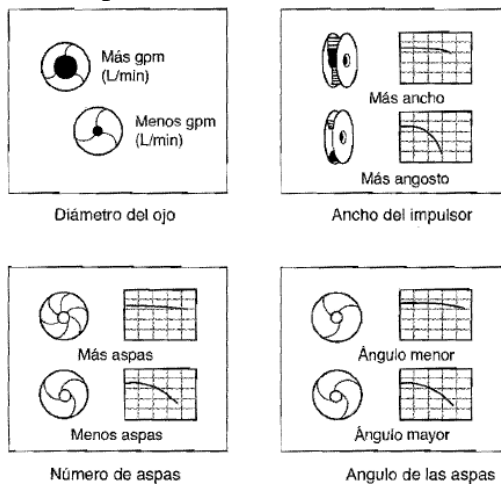
**Fuente:** NFPA 20, 2019.

Figura 44. Curvas características de la bomba de incendios centrífuga típica.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

Figura 45. Efecto del diseño del impelente sobre las curvas de descarga de cabeza para bombas de incendio.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

**1.6.5. Cabezal total:** Energía impartida al líquido cuando pasa a través de la bomba. Su cálculo se realiza con la siguiente expresión:

$$H = h_d + h_{vd} - h_s - h_{vs} \quad (2)$$

Donde:

$H$  = Cabezal total (m)

$h_d$  = Cabezal de descarga (m)

$h_{vd} = \frac{vd^2}{2g}$  = Cabezal de velocidad de descarga (m)

$h_s$  = Cabezal de succión total (m)

$h_{vs} = \frac{vd^2}{2g}$  = Cabezal de velocidad de succión (m)

$V$  = Promedio de velocidad (m/s)

$g$  = Aceleración debida a la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

En cuanto al cabezal de succión se tiene que es la distancia vertical desde el nivel de agua a la brida de descarga de la Bombay utiliza la siguiente expresión:

$$H = (h_{gd} + L) + h_{vd} + h \quad (3)$$

Donde:

$h_{gd}$  = Lectura del manómetro de descarga (m)

$L$  = Brida del manómetro de la bomba (m)

$$h_{vd} = \frac{vd^2}{2g} = \text{Cabezal de velocidad de descarga (m)}$$

$h$  = Distancia vertical, referencia para nivel de agua de la bomba

**1.6.6. Velocidad específica:** Relaciona el cabezal, capacidad y velocidad de una bomba centrífuga para propósitos de diseño. Se expresa así:

$$N_s = \frac{\text{rpm} \cdot \text{gpm}^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (4)$$

Donde:

$N_s$  = Número de velocidad específica.

$H$  = Cabezal (m)

**1.6.7. Potencia de bombas de Incendio:** Para adaptar un impulsor, se debe conocer su demanda máxima de potencia al freno a la tasa de velocidad, el cual se puede determinar por la curva de potencia provista por el fabricante de la bomba; representada en la Figura 46 o por la siguiente expresión:

$$bhp = \frac{5.83QP}{10000E} \text{ o } bhp = \frac{QP}{1710E} \quad (5)$$

Donde:

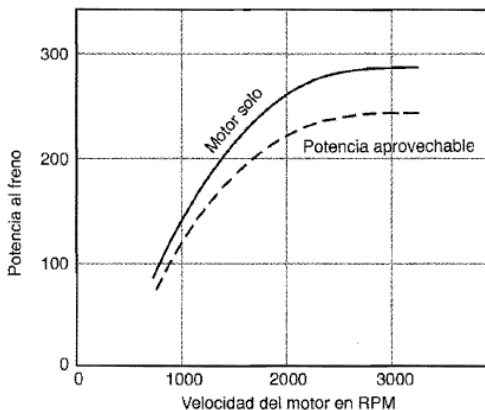
$bhp$  = Potencia al freno

$Q$  = Galones por minuto

$P$  = Cabezal total (psi) o presión neta

$$E = \text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia al freno}}{\text{Potencia de entrada}}$$

Figura 46. Curvas de potencia de motor típicas.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

## 2. HIDRÁULICA PARA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

La hidráulica trata el flujo del agua teniendo en cuenta las características que este puede presentar frente a diferentes situaciones. En el caso de un incendio, el flujo se involucra mediante accesorios, válvulas, tuberías y orificios con salidas de hidrantes, rociadores y boquillas. (Moncada y Moncada, 2009)

**2.1. PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL AGUA:** El agua que se utiliza es agua dulce a no ser que por especificaciones externas sea requerida otro tipo de fluido hídrico. Los cálculos se hacen en galones US (gal) el cual equivale a 3.78 L.

### 2.2. PROPIEDADES FÍSICAS:

**2.2.1. Densidad:** Definida como masa por unidad de volumen y expresada con la siguiente expresión.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (6)$$

Donde:

$\rho$  =Densidad del agua (Kg/m<sup>3</sup>)

$m$ =Masa (Kg)

$V$ =Volumen (m<sup>3</sup>)

**2.2.2. Peso Específico:** Sus unidades de medida son Lbf/ft<sup>3</sup> en Unidades usuales U.S. y Kg/m<sup>3</sup> en Unidades SI. Está definida por la siguiente expresión.

$$w = \rho g \quad (7)$$

Donde:

$w$  = Peso específico (Kg/m<sup>3</sup>)

$\rho$  =Densidad del agua (Kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = Aceleración de gravedad (m/s<sup>2</sup>)

**2.2.3. Viscosidad:** Es una medida de resistencia de un fluido a circular, cuyas unidades son (lb\*s/ft<sup>2</sup>) en unidades US o (N\*s/ m<sup>2</sup>) en unidades SI. A 32 °F (0 °C), la viscosidad absoluta del agua es de 3.746\*10<sup>-5</sup> lb\*s/ft<sup>2</sup> (1793\*10<sup>-5</sup> N\*s/ m<sup>2</sup>). Su expresión es la siguiente:

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (8)$$

Donde:

$\nu$  = Viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)

$\mu$  = Viscosidad absoluta (Kg\*s/m)

$\rho$  = Densidad del agua (Kg/m<sup>3</sup>)

Para la protección contra incendios, la gran mayoría de aplicaciones hidráulicas asumen este recurso hídrico bajo condiciones ambientales, para las fórmulas que calculan las pérdidas, sin tener en cuenta en cambio o modificaciones en la viscosidad.

**2.3. PRESIÓN:** Es la unidad de fuerza por unidad de área. Con respecto a la ingeniería de protección contra incendios, la presión es medida en lb/pulg<sup>2</sup> (psi) o N/m<sup>2</sup> (Pa).

$$P_t = P_n + P_v \quad (9)$$

Donde:

$P_t$  = Presión total (N/m<sup>2</sup>)

$P_n$  = Presión normal (N/m<sup>2</sup>)

$P_v$  = Presión de velocidad (N/m<sup>2</sup>)

**2.3.1. Presión Normal:** Presión que experimenta el costado de la tubería o recipiente donde se encuentre el líquido con o sin flujo, conocida como “presión estática o cabeza de presión” o “residual”, respectivamente. Dado por la siguiente expresión:

$$P_n = 9.81h \quad (10)$$

$$h = \frac{P_n}{9.81} = 0.102P_n \quad (11)$$

Donde:

$P_n$  = Presión normal (N/m<sup>2</sup>)

$h$  = Cabezal de altura (m)

**2.3.2. Cabeza de velocidad:** La presión que produce la velocidad y que actúa sobre una masa de agua, es similar a que, a una masa cayendo libremente, inicialmente en reposo y con una distancia igual a la presión de cabeza. La expresión que utiliza es:

$$P_v(Kpa) = 9.81 \frac{v^2}{2g} \quad (12)$$

Donde:

$P_v$  = Presión de velocidad (N/m<sup>2</sup>)

$v$  = Velocidad (m/s)

$g$  = Aceleración de gravedad (m/s<sup>2</sup>)

**2.4. TEOREMA DE BERNOULLI:** Enuncia la ley física de conservación de energía, con respecto a problemas de flujo de fluido incomprensible. Así mismo, hace referencia que, para cualquier partícula de fluido incomprensible, la suma de la cabeza de velocidad, cabeza de presión y cabeza de elevación es constante, en flujo estable sin fricción a lo largo de su curso. Por lo tanto, es la misma en cualquier punto dentro del sistema. (Moncada y Moncada, 2009)

**2.4.1. Expresión matemática:** A causa de las pérdidas de fricción y otros factores, el teorema de Bernoulli se aplica en 2 puntos como sigue:

$$Z_A + \frac{P_A}{W} + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{W} + \frac{V_B^2}{2g} + h_{AB} \quad (13)$$

Donde:

V: Velocidad en metros por segundo (m/s)

g: Aceleración de gravedad [32.2 ft/s<sup>2</sup> (9.81 m/s<sup>2</sup>)]

P: Presión [lb/ft<sup>2</sup> (Kpa)]

Z: Cabeza de elevación [(distancia sobre la información asumida), pies (ft)]

W: Peso específico del fluido lb/ft<sup>3</sup> (64.4 ft/ft<sup>3</sup> o 9.81 Kn/m<sup>2</sup>)

$\frac{v^2}{2g}$ : Cabeza de velocidad en metros (m)

$\frac{P_B}{W}$ : Cabeza de presión en metros (m)

$h_{AB}$ : Pérdida de cabeza entre la ubicación A y B en metros (m)

**2.5. FLUJO DE AGUA EN TUBERÍAS:** El flujo de líquido hídrico en una tubería, tiene en cuenta el principio de continuidad: Energía y flujo. La pérdida de cabeza entre 2 puntos, se puede deber, en primer lugar, a la fricción existente entre el agua en movimiento y la pared de la tubería y en segundo lugar entre partículas de agua que se producen por turbulencia al cambiar de dirección o por un cambio brusco de velocidad al cambiar el diámetro de la tubería.

En cuanto a los sistemas de protección de incendios y redes hídricas principales, funcionan bajo flujo turbulento y pérdidas por fricción en el interior de la misma tubería, contabilizados por la mayoría de pérdidas de cabeza.

## 2.6. FÓRMULAS DE FLUJO POR PERDIDAS DE FRICCIÓN (CABEZA):

**2.6.1. Formula de Chezy:** Expresión más conocidas en el cálculo de la velocidad para pérdidas por fricción en tuberías:

$$v = c\sqrt{d/4 * h/l} \text{ O } h = \frac{4lv^2}{c^2d} \quad (14)$$

Donde:

C: Factor que depende de la clase y rugosidad de la tubería.

r: Radio hidráulico = área/circunferencia = d/4.

d: Diámetro de la tubería.

s: Declinación hidráulica = h/l = pérdida de la cabeza/longitud de la tubería

**2.6.2. Formula de Darcy-Weisbach:** Se calcula la pérdida por fricción, la cual es aplicada a tuberías largas, rectas, de diámetro uniforme y con superficie áspera. Sale como derivación de la fórmula de Chezy, reemplazando el coeficiente c por el factor de fricción f, así:

$$h = f \frac{L v^2}{d 2g} \quad (15)$$

Donde:

h: Cabeza de fricción (m)

f: Factor de fricción.

L: Longitud de tubería (m)

d: Diámetro de tubería (m)

v: Velocidad (m/s)

g: Aceleración de gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Por otra parte, existe la ecuación de Colebrook-White, con la que se puede computar e iterar el valor de f, con el fin de obtener las pérdidas de cabeza de fricción. La expresión es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{R\sqrt{f}} \right] \quad (16)$$

Donde:

$\varepsilon$ : Medida lineal de rugosidad.

$f$ : Factor de fricción Darcy-Weisbach.

$D$ : Diámetro de la tubería. (m)

$R$ : Numero de Reynolds.

También para hallar  $f$ , se emplean los diagramas o cartas de Moody. Ilustrado en el anexo G27.

**2.6.3. Formula de Hazen-Williams:** Las fórmulas que usualmente son utilizadas en la hidráulica de protección de incendios son de carácter empírico y experimental, como la de Hazen-Williams definida de la siguiente manera:

$$v = 1.31cr^{0.63}s^{0.54} \quad (17)$$

Donde:

$v$  = Velocidad (m/s)

$c$  = Coeficiente de fricción

$r$  = Radio hidráulico

$s$  = Declive hidráulico

**2.6.4. Pérdidas menores:** Estas pérdidas ocurren cuando el flujo en la tubería cambia de dirección, varía el tamaño de la tubería o se presentan válvulas u otros elementos accesorios.

Las pérdidas menores se pueden expresar en longitud equivalente  $L/d$ , coeficiente de resistencia ( $K$ ) y coeficiente de flujo ( $C_v$ ).

- ❖ **Longitud equivalente ( $L/d$ ):** En cálculos de protección contra incendios, la pérdida por fricción, se obtiene mediante la Carta de longitud equivalente de tubería, que expresa la pérdida del accesorio como una longitud de tubería equivalente, sumándose a la longitud de la tubería que contiene el accesorio, con el fin de conocer la pérdida total de fricción. En el anexo G28 se presenta una carta de longitud equivalente.
- ❖ **Coeficiente de Resistencia ( $K$ ):** Determina la pérdida de cabeza de accesorios, en función de la velocidad, con la siguiente expresión:

$$h_f = K \frac{v^2}{2g} \text{ o } K = f \frac{v^2}{2g} \quad (18)$$

Donde:

$h_f$  = Pérdida de carga (m)

$K$  = Rugosidad absoluta (m)

$f$  = Coeficiente de fricción

$v$  = Velocidad (m/s)

$g$ : Aceleración de gravedad (m/s<sup>2</sup>)

- ❖ **Coefficiente de Flujo ( $C_v$ ):** Flujo de agua que produce una pérdida de fricción conocida (1 psi) por medio del accesorio, con la siguiente expresión:

$$C_v = \frac{\sqrt{g}d^2\pi}{\sqrt{8K}} = \pi d^2 \sqrt{\frac{g}{8K}} \quad (19)$$

Donde:

$C_v$  = Coeficiente de flujo

$d$  = Diámetro (m)

$K$  = Rugosidad absoluta (m)

$g$ : Aceleración de gravedad (m/s<sup>2</sup>)

- **Coefficiente de pérdidas por fricción a partir del cambio de diámetro en la tubería:** A partir de la forma y diámetro con el que cuente la tubería, se define el coeficiente de pérdida por fricción, como se muestra en el Anexo G29.

**2.6.5. Flujo de agua a través de orificios:** Así como un líquido, circula por una tubería a través de un orificio, la presión normal se convierte en presión de velocidad. Es expresado en términos de velocidad y área seccional, empleando la formula base de:

$$Q = 29.83c_d^4 d^2 \sqrt{p_v} \quad (20)$$

Donde:

$Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

$c$  = Coeficiente de descarga

$d$  = Diámetro de la boca de salida (m)

$p_v$  = Presión del caudal (KPa)

Para el cálculo del coeficiente planteado en la anterior expresión, se considera un Coeficiente de velocidad ( $C_v$ ) igual a 0.98 y un Coeficiente de contracción ( $C_c$ ), así:

$$C_d = C_c * C_v \quad (21)$$

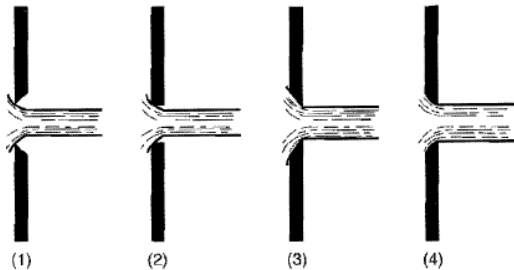
Por lo tanto:

$$C_d = 0.98 * 0.62 = 0.61 \quad (22)$$

- **Tipos de orificios:** Un orificio estándar es aquel con borde filo entrante y es utilizado para la medición de flujo de agua. La capacidad de este aumenta si se cambia su diseño para disminuir la contracción. A continuación, se presenta la ilustración de diferentes orificios:
  1. Orificio estándar con borde en filo sobre el lado de aproximación.
  2. Con una lámina delgada, tiene las mismas características de la corriente del tipo de orificio 1.
  3. Configuración contraria a la forma 1.
  4. Orificio con borde redondeado para adaptarse a la corriente.

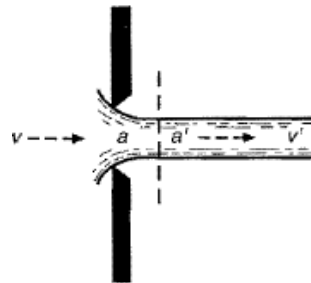
En las Figuras 47 y 48 , se presenta la configuración de diferentes orificios y el flujo por medio de un orificio estándar respectivamente.

Figura 47. Orificios de varias configuraciones.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

Figura 48. Flujo a través de un orificio estándar.

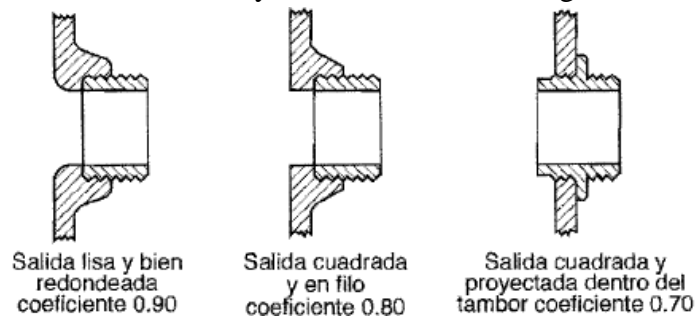


**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

En los orificios 3 y 4, los coeficientes de descarga con mayores que en los orificios estándar con un valor de 1.0, especialmente en el orificio de la forma 4. En el caso del chorro empleado para la extinción de un incendio el coeficiente de velocidad ( $C_v$ ) es de 0.97.

Por medio de hidrantes, boquillas de manguera o rociadores automáticos de descarga de protección de incendios, los coeficientes de descarga son aplicados en donde existe flujo a través del orificio total o con una abertura de boquilla que contenga uniformidad en el perfil de la velocidad. Las 3 salidas generales con hidrantes se presentan en la Figura 49, así:

Figura 49. Tres tipos de salidas de hidrante y coeficientes de descarga.



**Fuente:** Moncada y Moncada, 2009.

Y emplean los siguientes coeficientes de descarga, recopilados en la Tabla 2:

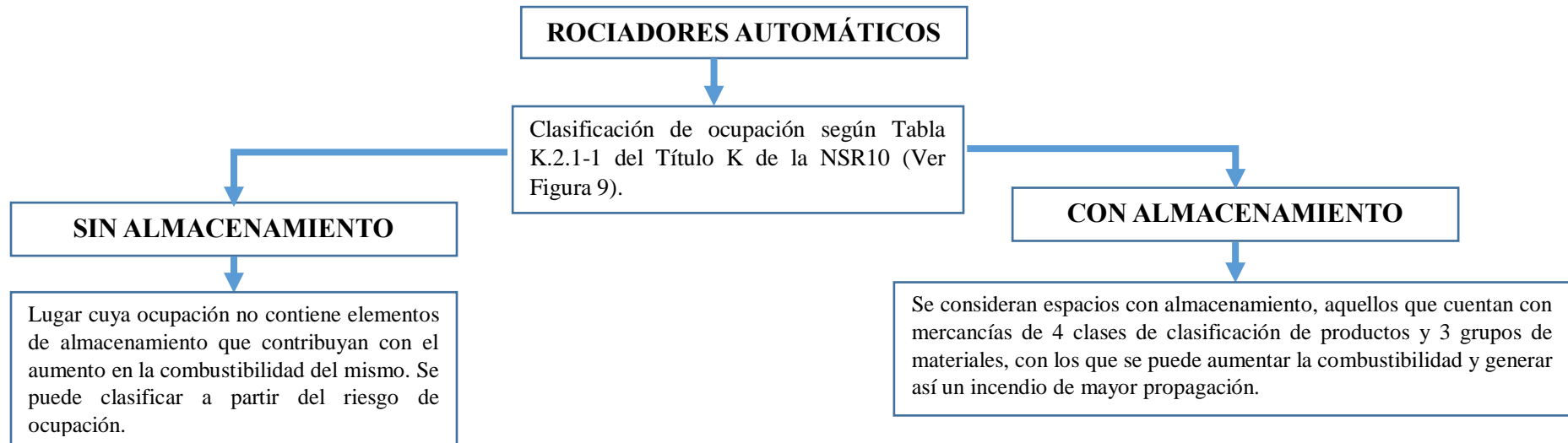
Tabla 2. Coeficientes de descarga típicos de boquilla de chorro sólido.

ELEMENTO	COEFICIENTE DE DESCARGA
Rociador de aspersión, promedio (nominal 1/2" de diámetro)	0.75
Rociador de aspersión, promedio (nominal 17/32" de diámetro)	0.95
Rociador de gota grande (0.64" de diámetro)	0.90
Orificio estándar (borde en filo)	0.62
Boquillas de anima pulida, general	0.96-0.98
Tuberías de agitación Underwriter o igual	0.97
Boquillas monitoras o de diluvio	0.997
Tubería abierta, lisa, bien redondeada	0.80
Hidrante al tope, lisa, bien redondeada	0.90
Hidrante al tope, liso y salida bien redondeada, con flujo total	0.90
Hidrante al tope, cuadrado y en filo en tambor del hidrante	0.82
Hidrante al tope, salida cuadrada, proyectada dentro del tambor	0.70

**Fuente:** Elaboración propia, con base en (Moncada y Moncada, 2009)

### 3. PROCESO DE DISEÑO Y CÁLCULO

**3.1.Rociadores automáticos:** Desde la Figura 50 hasta la Figura 58, serán empleadas en el siguiente diagrama.



## SIN ALMACENAMIENTO

4. Calcular el Número de rociadores, por medio de la siguiente expresión:

$$Nr = \frac{A}{Ar}$$

Donde:  
A: Área de diseño  
Ar: Área de cobertura máxima de protección. (ft<sup>2</sup>)

5. Calcular el Caudal por rociador (Qr), por medio de la siguiente expresión:

$$Qr = \frac{QR}{Nr}$$

Donde:  
QR: Caudal de rociadores (gpm)  
Nr: Número de rociadores (und).

6. Determinar el caudal de mangueras (QM) (gpm):  
Tabla 19.3.3.1.2 de la NFPA 13. Ed. 2019. (Ver Figura 54)

7. Calcular el caudal total (QT) (gpm):

$$QT = QR + QM$$

8. Determinar duración de descarga hídrica (t) (min), a partir de la Tabla 19.3.3.1.2 de la NFPA 13. Ed. 2019. (Ver Figura 54)  
**Nota:** En el Riesgo Ordinario y Riesgo Extra, la duración mínima es utilizada cuando se realiza supervisión remota y la duración máxima cuando no se realiza la supervisión del sistema.

9. Calcular el volumen de agua (V) (gal) para la red contra incendios:

$$V = QT * t$$

1. Clasificación de riesgo, según capítulo 19 de la NFPA 13. Ed. 2019:

- Riesgo Leve (LH)
- Riesgo Ordinario 1 (OH1)
- Riesgo Ordinario 2 (OH2)
- Riesgo Extra 1 (EH1)
- Riesgo Extra 2 (EH2)

2. Calcular el caudal de rociadores (QR) (gpm):

$$QR = d * A$$

Donde:  
d: Densidad de aplicación (gpm/ft<sup>2</sup>)  
A: Área de diseño (A) (ft<sup>2</sup>)  
\* Gráfica 19.3.3.1.1 de la NFPA 13. Ed. 2019. (Ver Figura 50)

3. Definir el área de cobertura máxima de protección (Ar), a partir de la clasificación de ocupación.

- Riesgo leve, se emplea la Tabla 10.2.4.2.1. (a) de la NFPA 13. Ed. 2019. (Ver Figura 51).
- Riesgo Ordinario, se emplea la Tabla 10.2.4.2.1. (b) de la NFPA 13. Ed. 2019. (Ver Figura 52).
- Riesgo Extra, se emplea la Tabla 10.2.4.2.1. (c) de la NFPA 13. Ed. 2019. (Ver Figura 53).

10. Calcular la presión mínima de operación (P), mediante la siguiente expresión:

$$P = \left( \frac{Qr}{K} \right)^2$$

Donde:  
Qr: Caudal por rociador (gpm)  
K: Relación del coef. de descarga y el diámetro de la boquilla, a partir del sistema de protección seleccionado. El valor seleccionado debe ser suficiente para que la presión sea mínimo de 7 psi.

## CON ALMACENAMIENTO

1. Clasificación de mercancías, según el capítulo 20 de la NFPA 13. Ed. 2019:

- Clase I \* Grupo A
- Clase II \* Grupo B
- Clase III \* Grupo C
- Clase IV

- \* Almacenamiento en llantas
- \* Almacenamiento de rollos de papel

2. Determinar la protección de almacenamiento, según la Tabla 20.12.2.6 de la NFPA 13 Ed. 2019. (Ver Figura 55).

- Modo Control Densidad Área (CMDA).
- Modo de control para aplicaciones específicas (CMSA).
- Respuesta rápida y supresión temprana (ESFR).

3. Clasificación de riesgo, según capítulo 19 de la NFPA 13. Ed. 2019:

- Riesgo Leve (LH)
- Riesgo Ordinario 1 (OH1)
- Riesgo Ordinario 2 (OH2)
- Riesgo Extra 1 (EH1)
- Riesgo Extra 2 (EH2)

4. Calcular el Caudal de Rociadores.

4.1. Para el Modo Control Densidad Área (CMDA), se utiliza la siguiente expresión:

$$QR = d * A$$

Donde:

QR: Caudal de rociadores (gpm)

d: Densidad de aplicación (gpm/ft<sup>2</sup>)

A: Área de diseño (A) (ft<sup>2</sup>),

Gráfica 19.3.3.1.1 de la NFPA 13. Ed. 2019. (Ver Figura 50).

4.2. Para Modo de control para aplicaciones específicas (CMSA) y Respuesta rápida y supresión temprana (ESFR).se utiliza la expresión:

$$QR = Qr * Nr$$

Donde:

Qr: Caudal por Rociadores, esta dada por la expresión:  $Qr = K * \sqrt{P}$  (gpm)

Nr: Numero de rociadores, calculado por medio de la expresión:

$$Nr = \frac{A}{Ar}$$

Donde:

A: Área de diseño, Gráfica 19.3.3.1.1 de la NFPA 13. Ed. 2019. (Ver Figura 50).

Ar: Área de cobertura máxima de protección.

Aplica para rociadores en techo y en estantería.

**Nota:** Para la ecuación de Caudal por Rociador:

$$Qr = K * \sqrt{P}$$

Donde:

K: Relación del coef. de descarga y el diámetro de la boquilla, a partir del sistema de protección seleccionado.

P: Presión; la cual sea mínima de 7 psi.

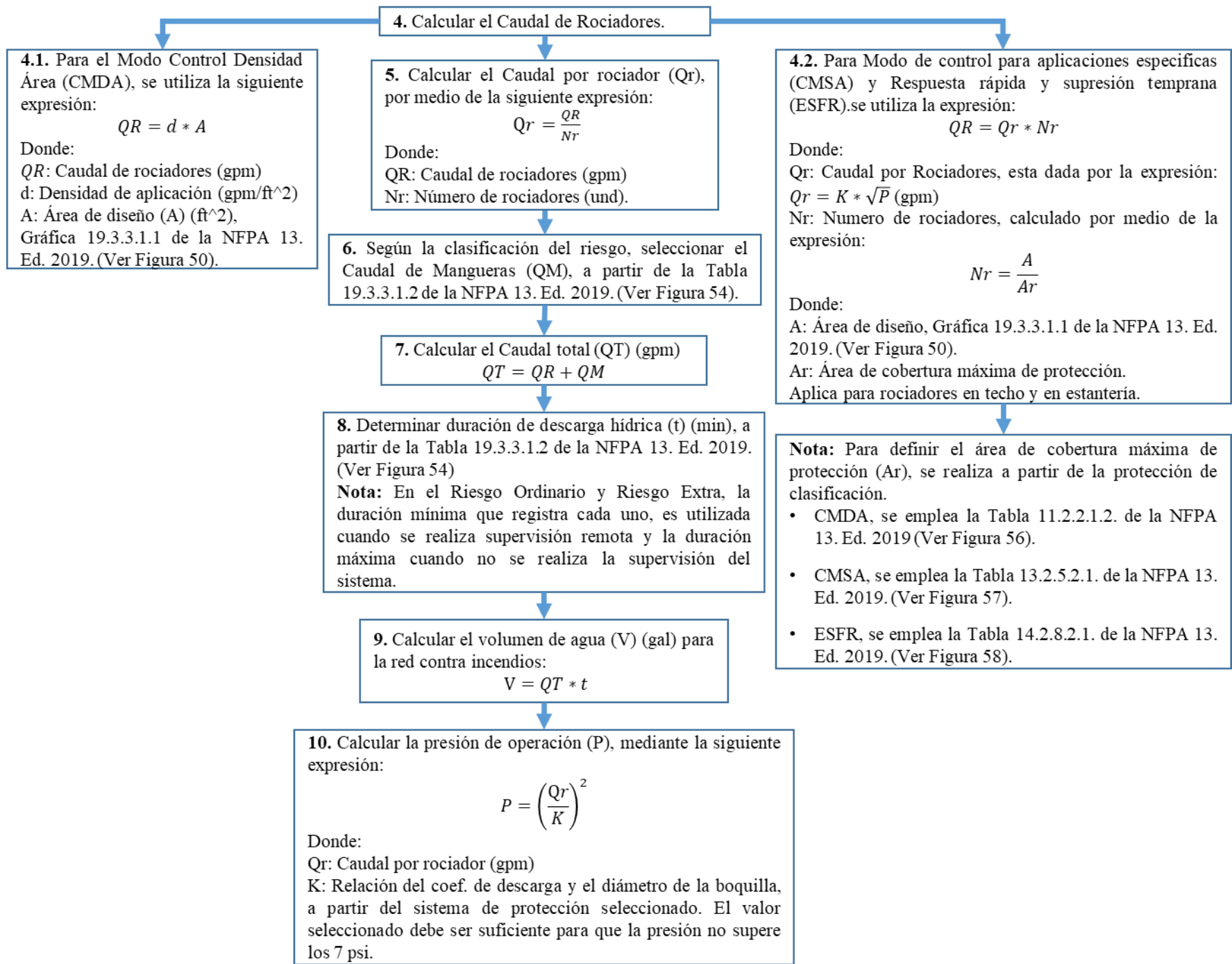
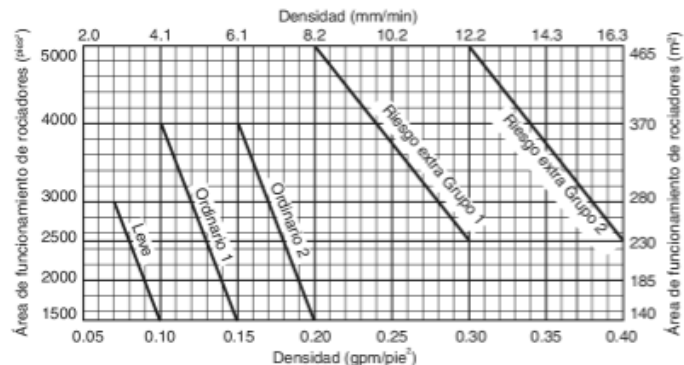


Figura 50. Figura 19.3.3.1.1. NFPA 13. Ed. 2019. Curva densidad/área. Oficinas administrativas. Torre B.



Fuente: NFPA 13, 2019.

Figura 51. Tabla 10.2.4.2.1 (a). NFPA 13. Ed. 2019. Área de cobertura máxima de protección para Riesgo Leve.

Tipo de construcción	Tipo de sistema	Área de protección máxima		Espaciamiento máximo	
		pie <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	pie	m
No combustible obstruida	Calculado hidráulicamente	225	20	15	4.6
No combustible obstruida	Cédula de tubería	200	18	15	4.6
No combustible obstruida	Calculado hidráulicamente	225	20	15	4.6
No combustible obstruida	Cédula de tubería	200	18	15	4.6
Combustible no obstruida, sin miembros expuestos	Calculado hidráulicamente	225	20	15	4.6
Combustible no obstruida, sin miembros expuestos	Cédula de tubería	200	18	15	4.6
Combustible no obstruida, con miembros expuestos a 3 pies (910 mm) o más entre centros	Calculado hidráulicamente	225	20	15	4.6
Combustible no obstruida, con miembros expuestos a 3 pies (910 mm) o más entre centros	Cédula de tubería	200	18	15	4.6
Combustible no obstruida, con miembros a menos de 3 pies (910 mm) entre centros	Todos	130	12	15	4.6
Combustible obstruida, con miembros expuestos a 3 pies (910 mm) o más entre centros	Todos	168	16	15	4.6
Combustible obstruida, con miembros a menos de 3 pies (910 mm) entre centros	Todos	130	12	15	4.6
Espacios ocultos combustibles de acuerdo con 10.2.6.1.4	Todos	120	11	15 en paralelo a la pendiente 10 perpendicular a la pendiente*	4.6 en paralelo a la pendiente 3.0 perpendicular a la pendiente*

Fuente: NFPA 13, 2019.

Figura 52. Tabla 10.2.4.2.1 (b). NFPA 13. Ed. 2019. Área de cobertura máxima de protección para Riesgo Ordinario.

Tipo de construcción	Tipo de sistema	Área de protección		Espaciamiento máximo	
		pie <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	pie	m
Todas	Todos	130	12	15	4.6

Fuente: NFPA 13, 2019.

Figura 53. Tabla 10.2.4.2.1. (c). Áreas de protección y espaciamiento máximo de rociadores pulverizadores para Riesgo Extra.

Tipo de construcción	Tipo de sistema	Área de protección		Espaciamiento máximo	
		pie <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	pie	m
Todas	Cédula de tubería	90	8.4	12*	3.7*
Todas	Calculado hidráulicamente con densidad de $\geq 0.25$ gpm/pie <sup>2</sup> (10.2 mm/min)	100	9	12*	3.7*
Todas	Calculado hidráulicamente con densidad de $< 0.25$ gpm/pie <sup>2</sup> (10.2 mm/min)	130	12	15	4.6

Fuente: NFPA 13, 2019.

Figura 54. Tabla 19.3.3.1.2. NFPA 13. Ed. 2019. Asignación del caudal de mangueras y duración de suministro de agua. Oficinas administrativas Torre B.

Ocupación	Manguera interior		Manguera interior y exterior total combinada		Duración (minutos)
	gpm	L/min	gpm	L/min	
Riesgo leve	0, 50, o 100	0, 190, o 380	100	380	30
Riesgo ordinario	0, 50, o 100	0, 190, o 380	250	950	60-90
Riesgo extra	0, 50, o 100	0, 190, o 380	500	1900	90-120

Fuente: NFPA 13, 2019.

Figura 55. Tabla 20.12.2.6. Asignación para chorros de mangueras y duración del suministro de agua.

Mercancía	Tipo de rociador	Tipo de espaciamiento entre rociadores	Cantidad de rociadores de ciclorsaso en el área de diseño <sup>a</sup>	Tamaño del área de diseño en el ciclorsaso	Asignación para chorros de mangueras		Duración del suministro de agua (minutos)
					gpm	L/min	
Mercancías de Clase I-IV, plásticos del Grupo A, palets de madera vacíos, palets de plástico vacíos y almacenamiento misceláneo	Modo de control de densidad /área (CMDA)	Estándar y de cobertura extendida	NA	Hasta 1200 pies <sup>2</sup> (112 m <sup>2</sup> )	250	950	60
				Más de 1200 pies <sup>2</sup> (112 m <sup>2</sup> ) hasta 1500 pies <sup>2</sup> (140 m <sup>2</sup> )	500	1900	90
				Más de 1500 pies <sup>2</sup> (140 m <sup>2</sup> ) hasta 2000 pies <sup>2</sup> (240 m <sup>2</sup> )	500	1900	120
				Más de 2000 pies <sup>2</sup> (240 m <sup>2</sup> )	500	1900	150
	Modo de control para aplicaciones específicas (CMSA)	Estándar	Hasta 12	NA	250	950	60
			Más de 12 y hasta 15	NA	500	1900	90
			Más de 15 y hasta 25	NA	500	1900	120
			Más de 25	NA	500	1900	150
		Cobertura extendida	Hasta 6	NA	250	950	60
			Hasta 8 <sup>b</sup>	NA	250	950	60
			Más de 6 y hasta 8	NA	500	1900	90
			Más de 8 y hasta 12	NA	500	1900	120
Respuesta rápida y supresión temprana (ESFR)	Estándar	Más de 12 y hasta 15	NA	500	1900	90	
		Más de 15 y hasta 25	NA	500	1900	120	
		Más de 25	NA	500	1900	150	
		Hasta 12	NA	250	950	60	
Almacenamiento de neumáticos de caucho sobre el piso, de hasta 5 pies (1.5 m) de altura	CMDA & CMSA	Estándar y de cobertura extendida	Cualquiera	Cualquier	250	950	120
Almacenamiento de neumáticos de caucho	CMDA	Estándar y de cobertura extendida	NA	Up to 5000 pies <sup>2</sup> (465 m <sup>2</sup> )	750	2850	180
	CMSA	Estándar	Hasta 15	NA	500	1900	180
	ESFR	Estándar	Hasta 12	NA	250	950	60
					Asignación para chorros de mangueras		Duración del suministro de agua (minutos)
					gpm	L/min	
Papel en rollo	CMDA	Estándar	NA	Hasta 4000 pies <sup>2</sup> (370 m <sup>2</sup> )	500	1900	120
	CMSA	Estándar	Hasta 25	NA	500	1900	120
	ESFR	Estándar	Hasta 12	NA	250	950	120
Protección alternativa según 25.8.3.3	NA	NA	NA	NA	500	1900	120

Fuente: NFPA 13, 2019.

Figura 56. Tabla 11.2.2.1.2. Área de protección y espaciamiento máximo para rociadores CMDA.

Tipo de construcción	Riesgo leve		Riesgo ordinario		Riesgo extra		Almacenamiento en pila gran altura	
	Área de protección [pie <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )]	Espaciamiento [pie (m)]	Área de protección [pie <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )]	Espaciamiento [pie (m)]	Área de protección [pie <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )]	Espaciamiento [pie (m)]	Área de protección [pie <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )]	Espaciamiento [pie (m)]
	No obstruida	400 (37) 324 (30) 256 (24) —	20 (6.1) 18 (5.5) 16 (4.9) —	400 (37) 324 (30) 256 (24) 196 (18) 144 (13)	20 (6.1) 18 (5.5) 16 (4.9) 14 (4.3) 12 (3.7)	— — — 196 (18) 144 (13)	— — — 14 (4.3) 15 (4.6)	— — — 196 (18) 144 (13)
No combustible obstruida (cuando esté específicamente listada para tal uso)	400 (37) 324 (30) 256 (24) —	20 (6.1) 18 (5.5) 16 (4.9) —	400 (37) 324 (30) 256 (24) 196 (18) 144 (13)	20 (6.1) 18 (5.5) 16 (4.9) 14 (4.3) 12 (3.7)	— — — 196 (18) 144 (13)	— — — 14 (4.3) 15 (4.6)	— — — 196 (18) 144 (13)	— — — 14 (4.3) 15 (4.6)
Combustible obstruida	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: NFPA 13, 2019.

Figura 57. Tabla 13.2.5.2.1. Área de protección y espaciamiento máximo para rociadores CMSA.

Tipo de construcción	Área de protección		Espaciamiento máximo	
	pie <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	pie	m
No combustible no obstruida	130	12	12	3.7
No combustible obstruida	130	12	12	3.7
Combustible no obstruida	130	12	12	3.7
Combustible obstruida	100	9	10	3.0
Almacenamiento en estanterías, combustible obstruida	100	9	10	3.0
Almacenamiento en estanterías no obstruida y no combustible obstruida	100	9	12	3.7

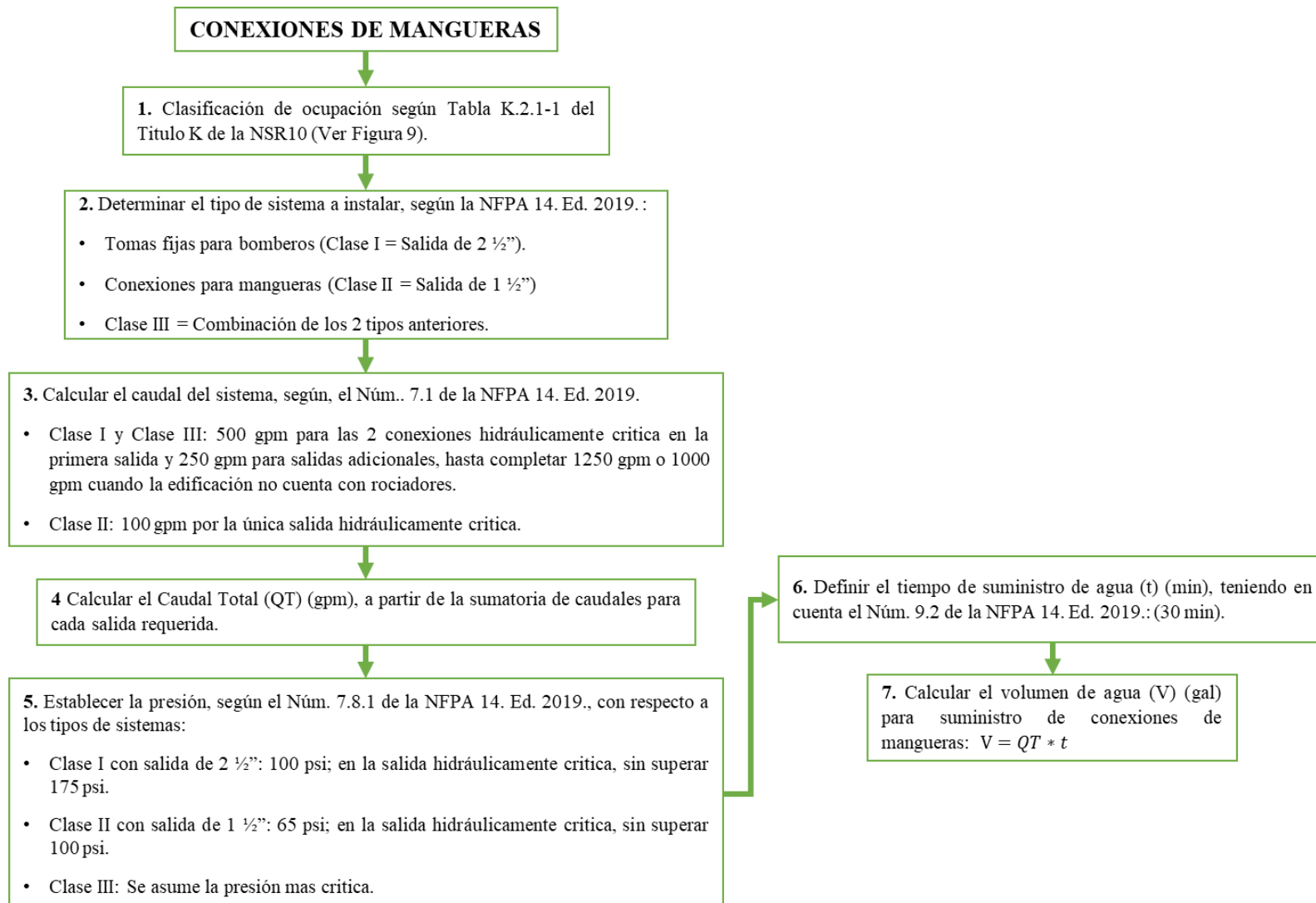
Fuente: NFPA 13, 2019.

Figura 58. Tabla 14.2.8.2.1. Área de protección y espaciamiento máximo para rociadores ESFR.

Tipo de construcción	Alturas de cielorraso/techo de hasta 30 pies (9.1 m)				Alturas de cielorraso/techo de más de 30 pies (9.1 m)			
	Área de protección		Espaciamiento		Área de protección		Espaciamiento	
	pie <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	pie	m	pie <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	pie	m
No combustible no obstruida	100	9	12	3.7	100	9	10	3.0
No combustible obstruida	100	9	12	3.7	100	9	10	3.0
Combustible no obstruida	100	9	12	3.7	100	9	10	3.0
Combustible obstruida	N/A		N/A		N/A		N/A	

Fuente: NFPA 13, 2019.

### 3.2. Conexiones de mangueras:



**3.3.Espumas de baja expansión:** Desde la Figura 59 hasta la Figura 62, serán empleadas en el siguiente diagrama.

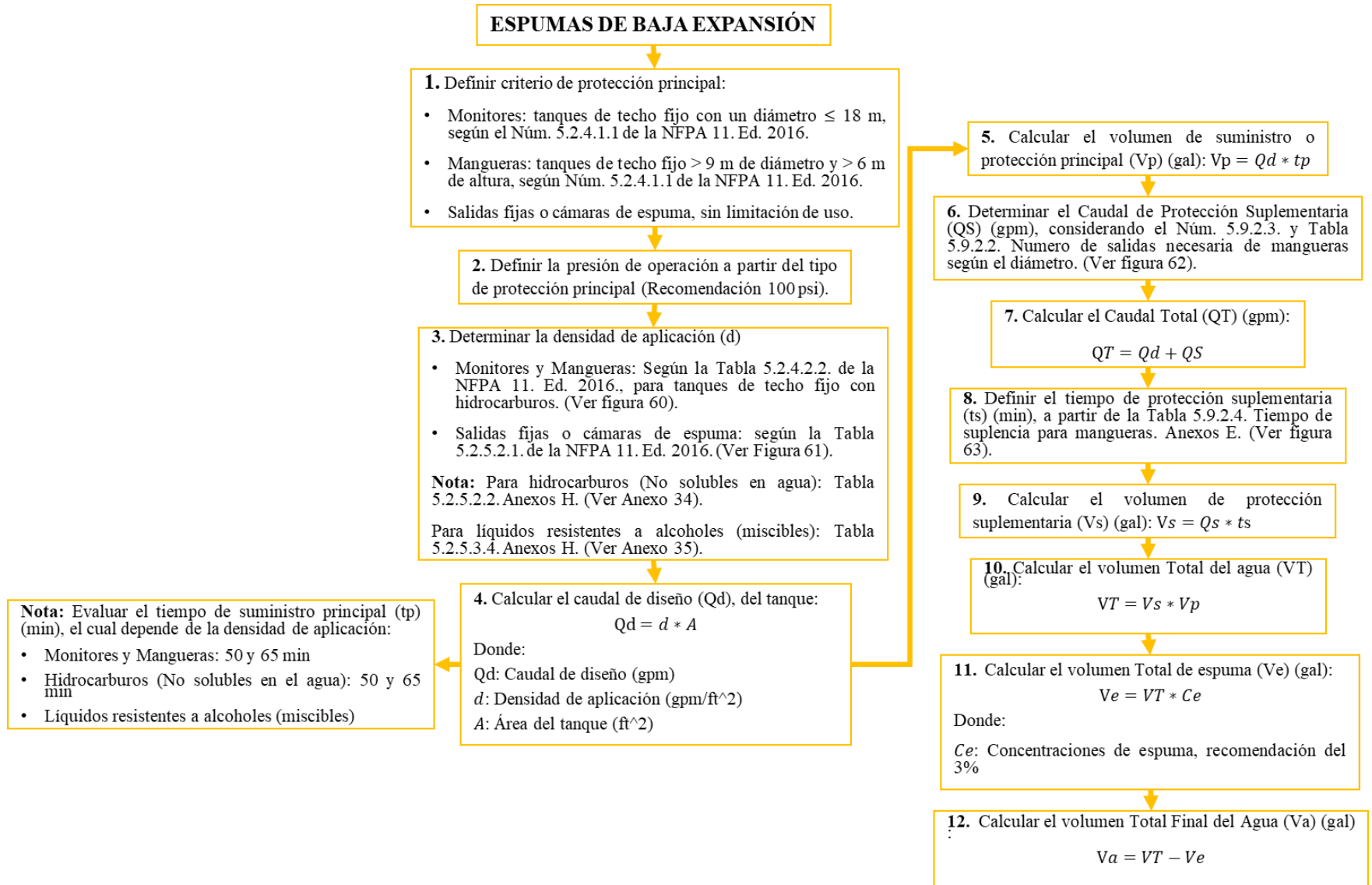


Figura 59. Tabla 5.2.4.2.2. NFPA 11. Ed. 2016. Asignación de densidad de aplicación y tiempo de suministro principal.

Tipo de hidrocarburo	Tasa mínima de aplicación		Tiempo mínimo de descarga (minutos)
	L/min . m <sup>2</sup>	gpm/pie <sup>2</sup>	
Punto de inflamación entre 37.8°C y 60°C (100°F y 140°F)	6.5	0.16	50
Punto de inflamación menores de 37.8°C (100°F) o líquidos calentados por encima de sus puntos de inflamación	6.5	0.16	65
Petróleo crudo	6.5	0.16	65

**Fuente:** NFPA 11, 2016.

Figura 60. Tabla 5.2.5.2.1. NFPA 11 Ed. 2016. Número de salidas fijas de descarga de espuma para tanques de techo fijo (cónico), contenidos de hidrocarburos, combustibles e inflamables, resistentes al alcohol.

Diámetro del tanque (o área equivalente)		Mínimo número de salidas de descarga
m	pie	
Hasta 24	Hasta 80	1
Sobre 24 a 36	Sobre 80 a 120	2
Sobre 36 a 42	Sobre 120 a 140	3
Sobre 42 a 48	Sobre 140 a 160	4
Sobre 48 a 54	Sobre 160 a 180	5
Sobre 54 a 60	Sobre 180 a 200	6
Sobre 60	Sobre 200	6
		Más 1 salida por cada 465 m <sup>2</sup> (5000 pie <sup>2</sup> )

**Fuente:** NFPA 11, 2016.

Figura 61. Tabla 5.9.2.2. NFPA 11. Ed. 2016. Definición de número de salidas requeridas.

Diámetro del tanque mayor		Número mínimo de chorros de manguera requeridos
metros	pies	
Hasta 19.5 m	Hasta 65	1
19.5 a 36 m	65 a 120	2
Más de 36 m	Más de 120	3

**Fuente:** NFPA 11, 2016.

Figura 62. Tabla 5.9.2.4. NFPA 11. Ed. 2016. Definición del tiempo mínimo de operación.

Diámetro del tanque mayor		Tiempo mínimo de operación*
metros	pies	
Hasta 10.5	Hasta 35	10
10.5 a 28.5	35 a 95	20
Más de 28.5	Más de 95	30

**Fuente:** NFPA 11, 2016.

**3.4. Agua pulverizada:** Desde la Figura 63, será empleada en el siguiente diagrama.

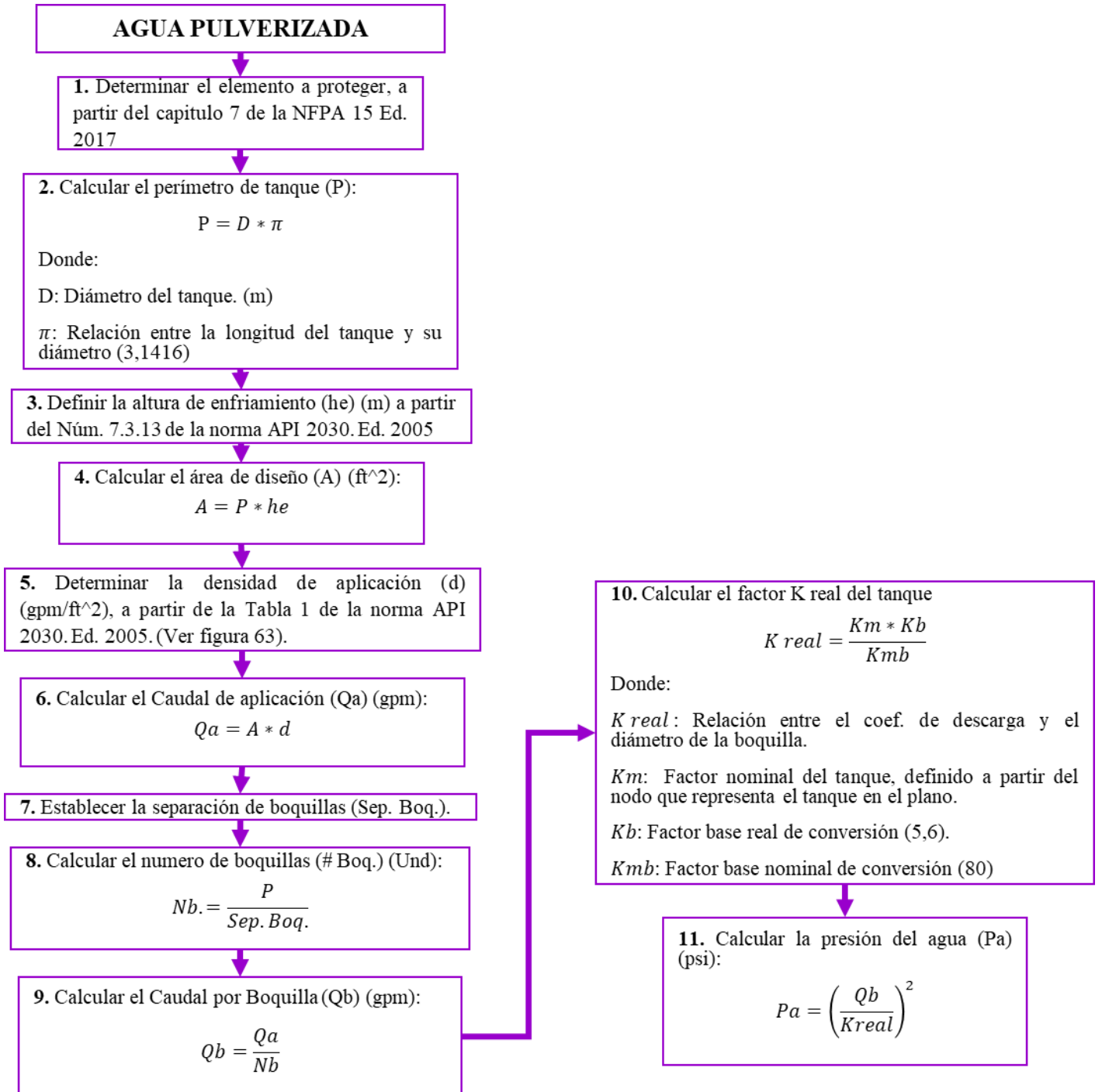
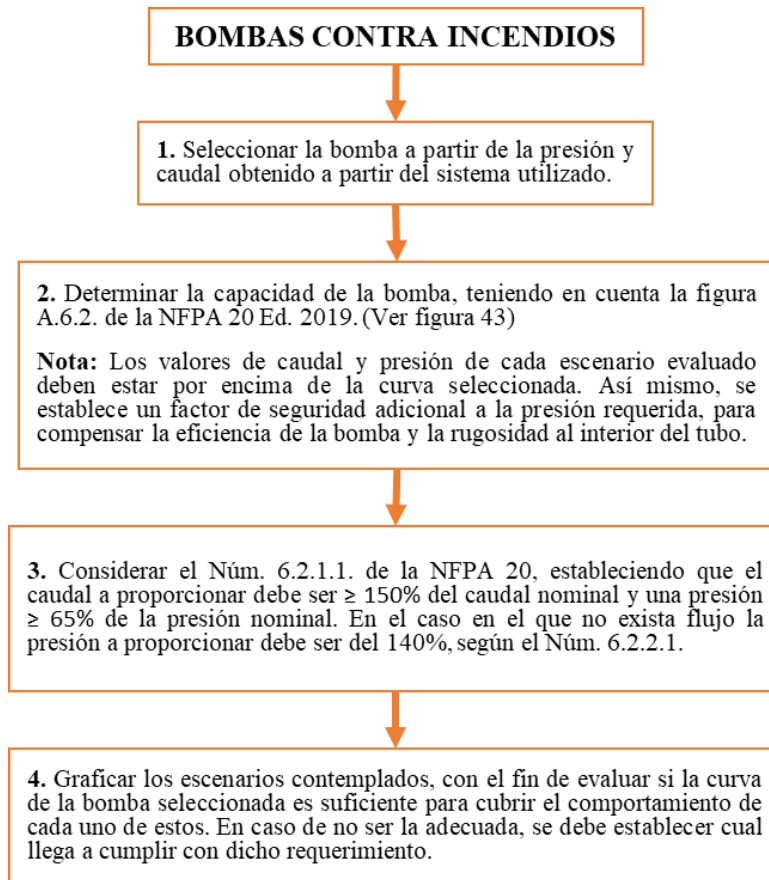


Figura 63. Tabla 1. API 2030. 2005. Elección de la densidad de aplicación para sistemas de agua pulverizada.

Item	Section in API 2030 or Other Indicated Reference	Application Rate: Gallons per Minute per Square Foot	Application Rate: Liters per Minute per Square Meter
Application Rates for General Exposure Protection			
General Exposure Protection	7.2.1	0.10 – 0.25	4.1 – 10.2
Application Rates for Control of Burning			
Control of Burning <i>Varies with Application Scenario</i>	7.2.2	0.50 – 0.20	20.4 – 8.2
Application Rates for Extinguishment— <i>see note 4</i>			
Extinguishment			
Combustible Solid	7.2.3	0.15 – 0.30	6.1 – 12.2
Combustible Liquid	7.2.3	0.35 – 0.50	14.6 – 20.4
Flammable Liquid	7.2.3	(May not be desirable or possible; see text)	
Exposure Protection Application Rates for Specific Equipment & Structures			
Air-fin coolers— <i>see note 1</i>	7.3.4	0.25	10.2
Atmospheric Storage Tanks	7.3.13	0.10–0	4.1–0
Compressors—General —in Buildings	7.3.6 7.3.6	0.25 0.30	10.2 12.2
Cooling Towers	7.3.10; NFPA 214	0.15 – 0.50	6.1 – 20.4
Fired heater supports	7.3.9	0.25	10.2
LPG loading racks	7.3.11	0.25	10.2
Motors	7.3.8	0.25	10.2
Pipe Racks— <i>see note 2</i>	7.3.2	0.25	10.2
Pressurized storage tanks	7.3.5: API Std 2510 & Publ 2510A		
Radiant Exposure	7.3.5 (distance related)	0 – 0.10	0 – 4.1
Non-pressure Impingement	7.3.5 (design related)	0.25 basic minimum <i>see note 3</i>	10.2 basic minimum <i>see note 3</i>
Pressure Impingement	7.3.5; prefer direct 250 to 500 gpm fire water stream at point of impingement	0.50 minimum plus firewater stream	20.4 minimum plus firewater stream
Process Buildings & Structure Primary Supplemental	7.3.14; NFPA 13	0.30 0.15	12.2 6.1
Pressure Vessels, Exchangers & Towers— <i>see note 3</i>	7.3.5	0.25	10.2
Pumps	7.3.1	0.50	20.4
Transformers	7.3.3	0.25	10.2
Turbines—General —In Buildings	7.3.7 (7.3.6)	0.25 0.30	10.2 12.2
Well Heads	7.3.12	0.50	20.4

Fuente: API 2030, 2005.

### 3.5. Bombas contra incendios:



#### **4. CASOS DE ESTUDIO Y ANÁLISIS**

**4.1.EDIFICIO ADMINISTRATIVO DE CALI:** Es una edificación de oficinas que arquitectónicamente cuenta con 2 Torres A y B, con 5 pisos y 18 pisos de altura, respectivamente. Su construcción típica es con columnas de concreto, placas aligeradas con doble torta y reforzamiento estructural en perfilaría metálica. Se interconectan por pasillos y por el área de sótanos que cumplen la función de parqueaderos, almacenamiento de materiales como madera y un cuarto de archivo general con papel como elemento principal.

Los materiales con los que fue construida la edificación son mampostería estructural, la fachada en ladrillo a la vista, lámina metálica y madera para las puertas, elementos estructurales en perfilaría metálica, de las cuales algunas cuentan con secciones de refuerzo con concreto. Los materiales anteriormente mencionados no son combustibles o cuentan con una combustibilidad limitada.

Como la edificación cuenta con sectores de Almacenamiento (A-1), zonas de Servicios Públicos (I-5) y Comercial Servicios (C-1), se considera una ocupación Mixta (M), según la Figura 64 que presenta la Tabla K.2.1-1. NSR10. Ed. 2010.

Figura 64. Ocupaciones establecidas en la Edificación Administrativa de Cali.

Grupos y Subgrupos de ocupación	Clasificación
<b>A</b>	<b>ALMACENAMIENTO</b>
A-1	Riesgo moderado
A-2	Riesgo bajo
<b>C</b>	<b>COMERCIAL</b>
C-1	Servicios
C-2	Bienes
<b>E</b>	<b>ESPECIALES</b>
<b>F</b>	<b>FABRIL E INDUSTRIAL</b>
F-1	Riesgo moderado
F-2	Riesgo bajo
<b>I</b>	<b>INSTITUCIONAL</b>
I-1	Reclusión
I-2	Salud o incapacidad
I-3	Educación
I-4	Seguridad pública
I-5	Servicio público
<b>L</b>	<b>LUGARES DE REUNIÓN</b>
L-1	Deportivos
L-2	Culturales y teatros
L-3	Sociales y recreativos
L-4	Religiosos
L-5	De transporte
<b>M</b>	<b>MIXTO Y OTROS</b>
<b>P</b>	<b>ALTA PELIGROSIDAD</b>
<b>R</b>	<b>RESIDENCIAL</b>
R-1	Unifamiliar y bifamiliar
R-2	Multifamiliar
R-3	Hoteles
<b>T</b>	<b>TEMPORAL</b>

**Fuente:** Título K. NSR10, 2010.

A continuación, se presentan los respectivos cálculos para rociadores automáticos aplicados en las oficinas administrativas del piso 18 de la torre B, parqueaderos ubicados en el sótano 1 y sótano 2 de la torre A y B, almacenamiento del sótano 1, sótano 2 y piso 1 y de conexiones de mangueras para la edificación administrativa.

#### 4.1.1. Rociadores Automáticos

- ❖ **Oficinas Administrativas Piso 18 Torre B:** Estas oficinas cuentan con un área distribuida de 18375 m<sup>2</sup>. El diseño y cálculo del sistema de protección contra incendios con rociadores automáticos, se realiza solo para las oficinas del piso 18 de la Torre B. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de rociadores automáticos para oficinas administrativas piso 18 Torre B.

ITEM	CONDICIÓN	VALOR																																																																							
PASO 1.	Clasificación del riesgo (Num. 4.3.2. de la NFPA 13, Ed. 2019)	Riesgo Leve																																																																							
PASO 2.	Caudal de diseño rociadores QR (gpm)	150																																																																							
2.1.	Densidad de aplicación d (gpm/ft <sup>2</sup> )	0,1																																																																							
2.2.	Área de diseño A (ft <sup>2</sup> )	1500																																																																							
	$QR = d * A$																																																																								
PASO 3.	Área recomendada para el Riesgo Leve Ar (m <sup>2</sup> )	18																																																																							
	Área recomendada para el Riesgo Leve Ar (ft <sup>2</sup> )	194																																																																							
	(Tabla 10.2.4.2.1 (a) NFPA 13, Ed. 2019)																																																																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tipo de construcción</th> <th colspan="2">Área de protección máxima</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Tipos de sistemas</th> <th>m<sup>2</sup></th> <th>pie<sup>2</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">No combustible obtenida</td> <td>Calculado hidráulicamente</td> <td>225</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Cédula de subterránea</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">No combustible obtenida</td> <td>Calculado hidráulicamente</td> <td>225</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Cédula de subterránea</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">No combustible obtenida, sin miembros expuestos</td> <td>Calculado hidráulicamente</td> <td>225</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Cédula de subterránea</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Combustible no obtenida, sin miembros expuestos a 3 pies</td> <td>Calculado hidráulicamente</td> <td>225</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Cédula de subterránea</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Combustible no obtenida, con miembros expuestos a 3 pies</td> <td>Calculado hidráulicamente</td> <td>200</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Cédula de subterránea</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Combustible no obtenida, con miembros expuestos a 3 pies</td> <td>Calculado hidráulicamente</td> <td>130</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Cédula de subterránea</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Combustible no obtenida, con miembros a menos de 3 pies</td> <td>Todos</td> <td>168</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>Todos</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Combustible obtenida, con miembros expuestos a 3 pies (100 mm) más cerca que otros (100 mm) entre centros</td> <td>Todos</td> <td>130</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Todos</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Españoles ocultos combustibles de acuerdo con (10.2.6.1.1)</td> <td>Todos</td> <td>120</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>Todos</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de construcción		Área de protección máxima			Tipos de sistemas	m <sup>2</sup>	pie <sup>2</sup>	No combustible obtenida	Calculado hidráulicamente	225	25	Cédula de subterránea	15	15	No combustible obtenida	Calculado hidráulicamente	225	25	Cédula de subterránea	15	15	No combustible obtenida, sin miembros expuestos	Calculado hidráulicamente	225	20	Cédula de subterránea	15	15	Combustible no obtenida, sin miembros expuestos a 3 pies	Calculado hidráulicamente	225	20	Cédula de subterránea	15	15	Combustible no obtenida, con miembros expuestos a 3 pies	Calculado hidráulicamente	200	18	Cédula de subterránea	15	15	Combustible no obtenida, con miembros expuestos a 3 pies	Calculado hidráulicamente	130	12	Cédula de subterránea	15	15	Combustible no obtenida, con miembros a menos de 3 pies	Todos	168	16	Todos	15	15	Combustible obtenida, con miembros expuestos a 3 pies (100 mm) más cerca que otros (100 mm) entre centros	Todos	130	12	Todos	15	15	Españoles ocultos combustibles de acuerdo con (10.2.6.1.1)	Todos	120	11	Todos	15	15	
Tipo de construcción		Área de protección máxima																																																																							
	Tipos de sistemas	m <sup>2</sup>	pie <sup>2</sup>																																																																						
No combustible obtenida	Calculado hidráulicamente	225	25																																																																						
	Cédula de subterránea	15	15																																																																						
No combustible obtenida	Calculado hidráulicamente	225	25																																																																						
	Cédula de subterránea	15	15																																																																						
No combustible obtenida, sin miembros expuestos	Calculado hidráulicamente	225	20																																																																						
	Cédula de subterránea	15	15																																																																						
Combustible no obtenida, sin miembros expuestos a 3 pies	Calculado hidráulicamente	225	20																																																																						
	Cédula de subterránea	15	15																																																																						
Combustible no obtenida, con miembros expuestos a 3 pies	Calculado hidráulicamente	200	18																																																																						
	Cédula de subterránea	15	15																																																																						
Combustible no obtenida, con miembros expuestos a 3 pies	Calculado hidráulicamente	130	12																																																																						
	Cédula de subterránea	15	15																																																																						
Combustible no obtenida, con miembros a menos de 3 pies	Todos	168	16																																																																						
	Todos	15	15																																																																						
Combustible obtenida, con miembros expuestos a 3 pies (100 mm) más cerca que otros (100 mm) entre centros	Todos	130	12																																																																						
	Todos	15	15																																																																						
Españoles ocultos combustibles de acuerdo con (10.2.6.1.1)	Todos	120	11																																																																						
	Todos	15	15																																																																						
PASO 4.	Número de Rociadores Nr	8																																																																							
	$Nr = \frac{A}{Ar}$																																																																								
PASO 5.	Caudal por Rociador Qr (gpm)	7,74																																																																							
	$Qr = \frac{QR}{Nr}$																																																																								
PASO 6.	Caudal de manopras OM (gpm)	18,75																																																																							
	$OM = QR + Qr$																																																																								
		100																																																																							
PASO 7.	Determinar Caudal total QT (gpm)	250																																																																							
	$QT = QR + QM$																																																																								
PASO 8.	Tiempo de suministro de agua t (min)	30																																																																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Ocupación</th> <th colspan="2">Manguera interior</th> <th colspan="2">Manguera interior y exterior total combinada</th> <th rowspan="2">Duración (minutos)</th> </tr> <tr> <th>gpm</th> <th>L/min</th> <th>gpm</th> <th>L/min</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Riesgo leve</td> <td>0,50, o 100</td> <td>0,190, o 380</td> <td>100</td> <td>380</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Riesgo ordinario</td> <td>0,50, o 100</td> <td>0,190, o 380</td> <td>250</td> <td>950</td> <td>60-90</td> </tr> <tr> <td>Riesgo extra</td> <td>0,50, o 100</td> <td>0,190, o 380</td> <td>500</td> <td>1900</td> <td>90-120</td> </tr> </tbody> </table>	Ocupación	Manguera interior		Manguera interior y exterior total combinada		Duración (minutos)	gpm	L/min	gpm	L/min	Riesgo leve	0,50, o 100	0,190, o 380	100	380	30	Riesgo ordinario	0,50, o 100	0,190, o 380	250	950	60-90	Riesgo extra	0,50, o 100	0,190, o 380	500	1900	90-120																																												
Ocupación	Manguera interior		Manguera interior y exterior total combinada		Duración (minutos)																																																																				
	gpm	L/min	gpm	L/min																																																																					
Riesgo leve	0,50, o 100	0,190, o 380	100	380	30																																																																				
Riesgo ordinario	0,50, o 100	0,190, o 380	250	950	60-90																																																																				
Riesgo extra	0,50, o 100	0,190, o 380	500	1900	90-120																																																																				
PASO 9.	Determinar Volumen de agua V (gal)	7500																																																																							
	$V = QT * t$																																																																								
PASO 10.	Determinar Volumen de agua V (m <sup>3</sup> )	28,39																																																																							
PASO 11.	Selección K	5,6																																																																							
	Presión (psi)	11,21																																																																							
		MAYOR A 7																																																																							

Fuente: Elaboración propia.

- ❖ **ANÁLISIS:** A partir de los resultados teóricos obtenidos, se encontró que para las oficinas administrativas del piso 18 de la torre B, al presentarse un conato de incendio, son requeridos 8 rociadores colgantes de respuesta rápida, debido a que, por su clasificación de riesgo leve, presenta una baja combustibilidad y menor propagación de calor. De igual manera se definió que el caudal total y la presión nominal con la que trabajara este sistema es de 250 gpm @ 11.21 psi.

Para llevar a cabo la implementación del sistema, en el lugar mencionado anteriormente y obtener los valores reales con los que funcionara al momento de extinguir un incendio, se realiza su simulación en el programa FHC CANUTE, el cual arroja que, para el piso en análisis, son necesarios 8 rociadores más un hidrante, con un caudal de consumo y presión residual mínima de 1009.2 L/min @ 11.179 bar (266 gpm @ 162.1 psi), como se evidencia en el anexo H1, que se activaran una vez sea detectada una señal de ignición.

Considerando el caudal residual mínimo que se determinó por parte del software y el tiempo de suministro (30 minutos) definido dentro de los cálculos, se calculó el volumen hídrico necesario para el abastecimiento del sistema, siendo este de 30.32 m<sup>3</sup>.

- ❖ **Parqueaderos ubicados en sótano 1 y sótano 2 de la Torre A y Torre B:** El sótano 1 cuenta con un área de 2800 m<sup>2</sup> y el sótano 2 cuenta con un área de 1423 m<sup>2</sup>, con un solo nivel de construcción cada uno. Los resultados se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Consideraciones de rociadores automáticos para parqueaderos sótano 1 y sótano 2.

ITEM	CONDICIÓN	VALOR																																
PASO 1.	Clasificación del riesgo (Num. 4.3.3. de la NFPA 13, Ed. 2019)	Riesgo ordinario 1																																
PASO 2.	Caudal de diseño rociadores QR (gpm)	225																																
2.1.	Densidad de aplicación d (gpm/ft <sup>2</sup> )	0,15																																
2.2.	Área de diseño A (ft <sup>2</sup> )	1500																																
	$QR = d * A$																																	
PASO 3.	Área recomendada para el Riesgo Ordinario Ar (m <sup>2</sup> )	12																																
	Área recomendada para el Riesgo Ordinario Ar' (ft <sup>2</sup> ) (Tabla 10.2.4.2.1 (b) NFPA 13, Ed. 2019)	129																																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de construcción</th> <th>Tipo de sistema</th> <th>Área de protección pie<sup>2</sup></th> <th>Espaciamiento máximo pie</th> <th>m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Todas</td> <td>Todos</td> <td>130</td> <td>12</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>4.6</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de construcción	Tipo de sistema	Área de protección pie <sup>2</sup>	Espaciamiento máximo pie	m	Todas	Todos	130	12	15					4.6																		
Tipo de construcción	Tipo de sistema	Área de protección pie <sup>2</sup>	Espaciamiento máximo pie	m																														
Todas	Todos	130	12	15																														
				4.6																														
PASO 4.	Numero de Rociadores Nr	11,61																																
	$Nr = \frac{A}{Ar}$																																	
PASO 5.	Caudal por Rociador Qr (gpm)	18,75																																
	$Qr = \frac{QR}{Nr}$	250																																
PASO 6.	Caudal de mangueras QM (gpm)																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ocupación</th> <th>Manguera interior gpm</th> <th>Manguera interior L/min</th> <th>Manguera exterior gpm</th> <th>Manguera exterior L/min</th> <th>Manguera interior y exterior total combinada gpm</th> <th>Manguera interior y exterior total combinada L/min</th> <th>Duración (minutos)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Riesgo leve</td> <td>0,50, o 100</td> <td>0,190, o 380</td> <td>100</td> <td>380</td> <td>380</td> <td>380</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Riesgo ordinario</td> <td>0,50, o 100</td> <td>0,190, o 380</td> <td>250</td> <td>950</td> <td>950</td> <td>950</td> <td>60-90</td> </tr> <tr> <td>Riesgo extra</td> <td>0,50, o 100</td> <td>0,190, o 380</td> <td>500</td> <td>1900</td> <td>1900</td> <td>1900</td> <td>90-120</td> </tr> </tbody> </table>	Ocupación	Manguera interior gpm	Manguera interior L/min	Manguera exterior gpm	Manguera exterior L/min	Manguera interior y exterior total combinada gpm	Manguera interior y exterior total combinada L/min	Duración (minutos)	Riesgo leve	0,50, o 100	0,190, o 380	100	380	380	380	30	Riesgo ordinario	0,50, o 100	0,190, o 380	250	950	950	950	60-90	Riesgo extra	0,50, o 100	0,190, o 380	500	1900	1900	1900	90-120	
Ocupación	Manguera interior gpm	Manguera interior L/min	Manguera exterior gpm	Manguera exterior L/min	Manguera interior y exterior total combinada gpm	Manguera interior y exterior total combinada L/min	Duración (minutos)																											
Riesgo leve	0,50, o 100	0,190, o 380	100	380	380	380	30																											
Riesgo ordinario	0,50, o 100	0,190, o 380	250	950	950	950	60-90																											
Riesgo extra	0,50, o 100	0,190, o 380	500	1900	1900	1900	90-120																											
PASO 7.	Determinar Caudal total QT (gpm)	475,00																																
	$QT = QR + QM$																																	
PASO 8.	Tiempo de suministro de agua t (min)	90																																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ocupación</th> <th>Manguera interior gpm</th> <th>Manguera interior L/min</th> <th>Manguera exterior gpm</th> <th>Manguera exterior L/min</th> <th>Manguera interior y exterior total combinada gpm</th> <th>Manguera interior y exterior total combinada L/min</th> <th>Duración (minutos)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Riesgo leve</td> <td>0,50, o 100</td> <td>0,190, o 380</td> <td>100</td> <td>380</td> <td>380</td> <td>380</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Riesgo ordinario</td> <td>0,50, o 100</td> <td>0,190, o 380</td> <td>250</td> <td>950</td> <td>950</td> <td>950</td> <td>60-90</td> </tr> <tr> <td>Riesgo extra</td> <td>0,50, o 100</td> <td>0,190, o 380</td> <td>500</td> <td>1900</td> <td>1900</td> <td>1900</td> <td>90-120</td> </tr> </tbody> </table>	Ocupación	Manguera interior gpm	Manguera interior L/min	Manguera exterior gpm	Manguera exterior L/min	Manguera interior y exterior total combinada gpm	Manguera interior y exterior total combinada L/min	Duración (minutos)	Riesgo leve	0,50, o 100	0,190, o 380	100	380	380	380	30	Riesgo ordinario	0,50, o 100	0,190, o 380	250	950	950	950	60-90	Riesgo extra	0,50, o 100	0,190, o 380	500	1900	1900	1900	90-120	
Ocupación	Manguera interior gpm	Manguera interior L/min	Manguera exterior gpm	Manguera exterior L/min	Manguera interior y exterior total combinada gpm	Manguera interior y exterior total combinada L/min	Duración (minutos)																											
Riesgo leve	0,50, o 100	0,190, o 380	100	380	380	380	30																											
Riesgo ordinario	0,50, o 100	0,190, o 380	250	950	950	950	60-90																											
Riesgo extra	0,50, o 100	0,190, o 380	500	1900	1900	1900	90-120																											
PASO 9.	Determinar Volumen de agua V (gal)	42750																																
	$V = QT * t$																																	
PASO 10.	Determinar Volumen de agua V (m <sup>3</sup> )	161,81																																
PASO 11.	Selección K	5,6																																
	Presión (psi)	11,21																																
	$P = \left( \frac{QT}{K} \right)^2$	MAYOR A 7																																

Fuente: Elaboración propia.

- ❖ **ANÁLISIS:** Para esta área de la edificación, se definió que la cantidad de rociadores a utilizar es de 12, de posición vertical ascendente (Upright), de respuesta rápida, considerando que no cuenta con un nivel de riesgo muy alto sino moderado, al clasificarse como riesgo ordinario 1, por lo que se si presenta un incendio la liberación de calor es de nivel medio. La presión nominal y el caudal total con el que se plantea inicialmente la implementación de rociadores automáticos, se definió en 475 gpm @ 11.21 psi.

Con respecto a la simulación del sistema empleado en la zona ya mencionada, se obtuvo un caudal de consumo requerido 1879 L/min @ 10.885 bar (496 gpm @ 154.57 psi), siendo requeridos 8 rociadores para la extinción de un incendio cuando se llegue a presentar. Para el volumen de abastecimiento hídrico se determinó 168.96 m<sup>3</sup>, considerando un tiempo de suministro de 90 minutos. Ver anexo H3.

- ❖ **Almacenamiento ubicado en el sótano 2, sótano 1 y piso 1:** El sótano 2 cuenta con 2 almacenamientos; el primero consta de muebles y estanterías con cartón y madera en su mayoría, el segundo con muebles en madera y computadores en desuso, con áreas de 402 m<sup>2</sup> y 410 m<sup>2</sup>, respectivamente. En el sótano 1 se ubican 2 almacenamientos; el primero con electrodomésticos, material de papelería, estanterías de cartón y diferentes suministros de oficina, en el segundo con almacenamiento de archivo en cajas de cartón apilada, con áreas respectivamente de 402 m<sup>2</sup> y 194 m<sup>2</sup>. En el piso 1 el almacenamiento consta en su mayoría de material de papel, registros impresos en cajas de cartón apilada en estantería, con un área de 1628 m<sup>2</sup>. La altura del almacenamiento en general no supera 3.7 m, con carga moderada de combustibilidad en estanterías de 2 filas. Los resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Consideraciones de rociadores automáticos para Almacenamiento sótano 1, sótano 2 y piso 1

ITEM		CONDICIÓN										VALOR	
PASO 1. Clasificación de mercancías (Según Tabla 4.3.1.7.1. NFPA)													
Mercancía	Tipo de almacenamiento	Altura de almacenamiento		Altura máxima del estorzo		Curva de diseño Figura 10.3.3.1.1	Nota	Manguera interior		Total combinado de manguera interior y exterior		Duración (minutos)	
		pie	m	pie	m			gpm	L/min	gpm	L/min		
Clase I a Clase IV													
Clase I	En apilamientos compactos, en palets, en gavetas, en estanterías de hilera única, doble o múltiple y almacenamiento espóla con espóla	≤12	≤3,7	—	—	O411		0, 50, 100	0, 190, 380	250	950	90	
Clase II		≤10	≤3,0	—	—	O411		0, 50, 100	0, 190, 380	250	950	90	
Clase II		>10 a ≤12	>3,0 a ≤3,7	—	—	O412		0, 50, 100	0, 190, 380	250	950	90	
Clase III	Almacenamiento misceláneo, pilas de baja altura Grupo C o Clase III	≤12	≤3,7	—	—	O412		0, 50, 100	0, 190, 380	250	950	90	
Clase IV	En palets, en gavetas, en estanterías compactas	≤10	≤3,0	—	—	O412		0, 50, 100	0, 190, 380	250	950	90	
Clase IV	En estanterías de hilera única, doble o múltiple y almacenamiento en estanterías espóla con espóla	>10 a ≤12	>3,0 a ≤3,7	32	10	4411		0, 50, 100	0, 190, 380	500	1900	120	
Clase IV	En estanterías de hilera única, doble o múltiple	>10 a ≤12	>3,0 a ≤3,7	32	10	Ver Capítulo 25.	*1 *1 *1 en estan tería	0, 50, 100	0, 190, 380	250	950	90	

Almacenamiento misceláneo, pilas de baja altura Grupo C o Clase III

PASO 2. Diseño de protección en Almacenamiento (Según Tabla 20.12.2.6. NFPA 13. Ed. 2019)

Mercancía	Tipo de rociador	Tipo de espaciado entre rociadores	Cantidad de rociadores de cobertura en el área de diseño	Tamaño del área de diseño en el área de diseño	Asignación para chorros de mangueras		Duración del suministro de agua (minutos)
					gpm	L/min	
Mercancías de Clase I-IV, plásticos del Grupo A, palets de madera vacíos, pilas de mercancías y almacenamiento misceláneo	Modo de control de densidad /área (CMDA)	Estándar y de cobertura extendida	NA	Hasta 1200 pies² (112 m²)	250	950	60
				Más de 1200 pies² (112 m²) hasta 1500 pies² (140 m²)	500	1900	90
				Más de 1500 pies² (140 m²) hasta 2000 pies² (210 m²)	500	1900	120
				Más de 2000 pies² (210 m²)	500	1900	150
	Modo de control para aplicaciones específicas (CMSA)	Cobertura extendida	Hasta 12	NA	250	950	60
			Más de 12 y hasta 15	NA	300	1080	90
			Más de 15 y hasta 25	NA	500	1900	120
			Más de 25	NA	500	1900	150
			Hasta 6	NA	250	950	60
			Hasta 8	NA	250	950	60
Respuesta rápida y supresión temprana (ESFR)	Estándar	Más de 6 y hasta 8	NA	300	1080	90	
		Más de 8 y hasta 12	NA	300	1080	120	
		Más de 12	NA	300	1080	150	
		Hasta 12	NA	250	950	60	
Más de 12 y hasta 15	NA	500	1900	90			
Más de 15 y hasta 25	NA	500	1900	120			
Más de 25	NA	500	1900	150			

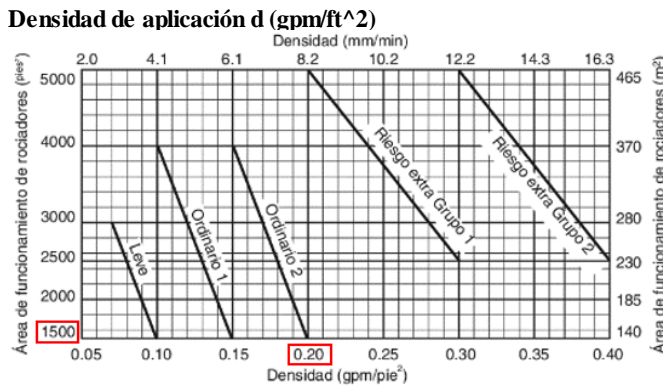
CMDA (Modo Control Densidad Area)

PASO 3. Clasificación de riesgo (Num. 4.3.4. de la NFPA 13. Ed.

Riesgo Ordinario 2

PASO 4. Area de diseño A (ft^2)

1500



**PASO 5. Area recomendada para el Riesgo Ordinario Ar (m<sup>2</sup>)** 13  
**Area recomendada para el Riesgo Ordinario Ar (ft<sup>2</sup>)** 139,93  
 (Tabla 11.2.2.1.2. NFPA 13. Ed. 2019)

Tipo de construcción	Riesgo leve		Riesgo ordinario		Riesgo extra		Almacenamiento en pilas de gran altura	
	Área de protección [pie <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )]	Espaciamiento [pie (m)]	Área de protección [pie <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )]	Espaciamiento [pie (m)]	Área de protección [pie <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )]	Espaciamiento [pie (m)]	Área de protección [pie <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )]	Espaciamiento [pie (m)]
	No obstruida	400 (37) 324 (30) 256 (24) —	20 (6.1) 18 (5.5) 16 (4.9) —	400 (37) 324 (30) 256 (24) 196 (18) <b>144 (13)</b>	20 (6.1) 18 (5.5) 16 (4.9) 14 (4.3) 12 (3.7)	— — — 196 (18) 144 (13)	— — — 14 (4.3) 15 (4.6)	— — — 196 (18) 144 (13)
No combustible obstruida (cuando esté específicamente listada para tal uso)	400 (37) 324 (30) 256 (24) —	20 (6.1) 18 (5.5) 16 (4.9) —	400 (37) 324 (30) 256 (24) 196 (18) 144 (13)	20 (6.1) 18 (5.5) 16 (4.9) 14 (4.3) 12 (3.7)	— — — 196 (18) 144 (13)	— — — 14 (4.3) 15 (4.6)	— — — 196 (18) 144 (13)	— — — 14 (4.3) 15 (4.6)
Combustible obstruida	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

**PASO 6. Numero de Rociadores Nr**

$$Nr = \frac{A}{Ar} \quad 10,72$$

11

**PASO 7. Caudal de diseño rociadores QR (gpm)**

$$QR = d * A \quad 300$$

**PASO 8. Caudal por Rociador Qr (gpm)**

$$Qr = \frac{QR}{Nr} \quad 27,27$$

**PASO 9. Caudal de mangueras QM (gpm)**

Ocupación	Manguera interior		Manguera interior y exterior total combinada		Duración (minutos)
	gpm	L/min	gpm	L/min	
Riesgo leve	0, 50, o 100	0, 190, o 380	100	380	30
Riesgo ordinario	0, 50, o 100	0, 190, o 380	<b>250</b>	950	60-90
Riesgo extra	0, 50, o 100	0, 190, o 380	500	1900	90-120

**PASO 10. Determinar Caudal total QT (gpm)**

$$QT = QR + QM \quad 550$$

**PASO 11. Tiempo de suministro de agua t (min)**

Ocupación	Manguera interior		Manguera interior y exterior total combinada		Duración (minutos)
	gpm	L/min	gpm	L/min	
Riesgo leve	0, 50, o 100	0, 190, o 380	100	380	30
Riesgo ordinario	0, 50, o 100	0, 190, o 380	250	950	<b>60-90</b>
Riesgo extra	0, 50, o 100	0, 190, o 380	500	1900	90-120

**PASO 12. Determinar Volumen de agua V (gal)**

$$V = QT * t \quad 49500,00$$

**Determinar Volumen de agua V (m<sup>3</sup>)** 187,36

**PASO 13. Selección K** 8

**PASO 14. Presión (psi)**

$$P = \left(\frac{Qr}{K}\right)^2 \quad 11,62$$

MAYOR A 7

**Fuente:** Elaboración propia.

- ❖ **ANÁLISIS:** A diferencia de los 2 anteriores escenarios, en este último se considera elementos como electrodomésticos en desuso, papel, madera, entre otros que pertenecen a archivo, definiéndolos un conjunto mixto de servicios comerciales y públicos institucionales de mercancía de clase III; razón por la cual y por el tipo de almacenamiento, se definió que la protección por medio de modo control densidad es el más adecuado para el desarrollo del sistema en cuestión. Así pues y mediante la realización de los cálculos teóricos, se definió que son necesarios 11 rociadores automáticos para la extinción de un incendio cuando sea requerido. De igual manera, caudal total y la presión nominal, que inicialmente se establece, es de 550 gpm @ 9.77 psi

El caudal total y presión nominal calculada teóricamente, fueron empleados para la simulación del sistema en el software FCH CANUTE, arrojando que, para un funcionamiento óptimo, son necesarios 12 rociadores más un hidrante, colgante de respuesta estándar, además de un caudal de consumo requerido y una presión residual nominal de 1839 L/min @ 7.774 bar (485.87 gpm @ 112.7 psi) tal como se puede evidenciar en el Anexo H5.

Por otra parte, se determinó que el volumen de agua necesario para el abastecimiento de los elementos que componen el sistema, es de 165.21 m<sup>3</sup>, considerando el tiempo de suministro de 90 minutos, definido en la sección de cálculos teóricos, además de complementar la bomba contra incendios, requerido por el sistema.

En la Tabla 6 se evidencia los principales parámetros teóricos hidráulicos a tener en cuenta para el análisis del diseño de Rociadores Automáticos y en la Tabla 7 se presentan los parámetros reales hidráulicos a tener en cuenta para este análisis.

Tabla 6. Parámetros teóricos hidráulicos para el análisis de Rociadores Automáticos.

Escenarios	CÁLCULOS TEÓRICOS DE ROCIADORES DE TECHO									
	Riesgo	Área de diseño (ft <sup>2</sup> )	Densidad de aplicación (gpm/ft <sup>2</sup> )	K Roc. (gpm/P <sup>0,5</sup> )	P Req. (psi/bar)	Q Rociador (gpm)	Tipo de rociador	# Roc.	Ø Roc. (in/mm)	Q Mangueras (gpm)
Oficinas administrativas Piso 18 Torre B	Riesgo Leve	1500	0,10	5,6	11,21 (0,77)	18,75	Colgante de respuesta rápida	8,00	2 (50)	100
Parqueadero sótano 1 y sótano 2	Riesgo ordinario 1	1500	0,15	5,6	11,21 (0,77)	18,75	Posición vertical ascendente de respuesta estándar	12,00	2 (50)	250
Almacenamiento piso 1, sótano 1 y sótano 2	Riesgo Ordinario 2	1500	0,20	8,0	9,77 (0,67)	27,27	Colgante de respuesta rápida	11,00	2 (50)	250

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 7. Parámetros reales hidráulicos para el análisis de Rociadores Automáticos.

Escenarios	CÁLCULOS REALES DE ROCIADORES DE TECHO									
	Riesgo	Área de diseño (ft <sup>2</sup> )	Densidad de aplicación (gpm/ft <sup>2</sup> )	K Roc. (gpm/P <sup>0,5</sup> )	P Req. (bar/psi)	Q Rociador (L/min-gpm)	Tipo de rociador	# Roc.	Ø Roc. (in/mm)	Q Mangueras (gpm)
Oficinas administrativas Piso 18 Torre B	Riesgo Alto	1500	0,10	5,6	11,179 (162,14)	1009,2 (266,60)	Colgante de respuesta rápida	8,00	2 (50)	100
Parqueadero sótano 1 y sótano 2	Riesgo Alto	1500	0,15	5,6	10,885 (157,9)	1879 (496,4)	Posición vertical ascendente de respuesta estándar	8,00	2 (50)	250
Almacenamiento piso 1, sótano 1 y sótano 2	Riesgo Alto	1500	0,20	8,0	7,774 (112,75)	1839 (485,8)	Colgante de respuesta estándar	12,00	2 (50)	250

**Fuente:** FHC CANUTE.

Como se evidencia en la Tabla 6, el escenario que teóricamente requiere mayor caudal de rociadores automáticos es el que contempla el almacenamiento del piso 1, sótano 1 y sótano 2 con 27.27 gpm y 11 rociadores, debido a que por la capacidad con la que cuenta de almacenamiento, su riesgo de ocupación es el más alto y por ende su cobertura de protección debe ser de igual proporción. Sin embargo y considerando los cálculos reales de la Tabla 7, obtenidos a partir de la simulación de los sistemas en el software FHC CANUTE, se evidencia que, aunque aumenta los 3 escenarios a Riesgo de ocupación alto, el escenario que presenta un mayor caudal de consumo y presión residual nominal; 496.4 gpm @ 157.9 psi, es el del parqueadero del sótano 1 y sótano 2 con la necesidad de 8 rociadores distribuidos en toda el área dispuesta para cada uno de los 2 sótanos.

Con lo anterior se puede establecer que, a pesar de contemplar una gran cantidad de almacenamiento en un recinto, el cual puede contribuir a una mayor combustión a la hora de presentarse un incendio, no siempre es el que requiere de mayor protección para el funcionamiento más óptimo del sistema.

#### 4.1.2. Conexiones De Mangueras

Para el sistema de conexiones de mangueras es necesario considerar la altura del inmueble en cuestión. Es por eso que la edificación administrativa de Cali, es considerada una construcción de gran altura, es decir, desde el nivel más alto ocupado hasta el punto de descarga de la salida, se cuenta con una altura mayor a 28 m. por lo que se obtuvieron los siguientes resultados, reflejados en la Tabla 8.

Tabla 8. Consideraciones de conexiones de mangueras para edificio administrativo.

ITEM	CONDICIÓN	VALOR
PASO 1.	Clasificación de ocupación (K.2.1.1 NSR-10 Ed. 2010)	Edificación administrativa de gran
PASO 2.	Tipo de sistema (NFPA 14. Num. 7.3.4.)	Clase Tipo III: Toma fija para mangueras (salida 2 1/2") y Conexiones de mangueras (salida 1 1/2")
PASO 3.	Caudal del sistema (NFPA 14. Num. 7.10)	1. 1° salida protegida con 2 conexiones 500 2. 2° Salida protegida adicional (gpm) 250 <b>SUMATORIA QT (gpm) 750</b>
PASO 4.	Número de Salidas requeridas para la protección del sistema	2
PASO 5.	Presión (NFPA 14. Num. 7.8.1.) (psi)	100
PASO 6.	Suministro mínimo t (min)	30
PASO 7.	Volumen de suministro de agua V (ft <sup>3</sup> )	22500
	$V = QT * t$	
	Volumen de suministro de agua V (m <sup>3</sup> )	85,16

**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ **ANÁLISIS:** a partir de la realización de los cálculos teóricos de conexiones de mangueras para la edificación administrativa de Cali, se estableció que el tipo de sistema requerido es el de Clase III, con 2 salidas protegidas; la primera con toma fija para manguera de 2 ½" y la segunda con conexión de manguera de 1 ½", asumiendo un caudal total de 750 gpm @ 100 psi, aclarando que para la primera son necesarios 500 gpm y para la segunda en condición de adicional, 250 gpm. Además se encontró un volumen teórico de abastecimiento de 85.16 m<sup>3</sup>.

Al representar el sistema en el software FHC CANUTE, se encuentra que para el funcionamiento del sistema es necesario un caudal de 2883.5 L/min @ 14.925 bar (761.7 gpm @ 216.41 psi), considerando finalmente un volumen de abastecimiento hídrico de 86.5 m<sup>3</sup>, el cual no varía mucho del teórico, pero cuya capacidad cubrirá las mismas dos salidas protegidas que se definieron inicialmente. Ver anexo H7.

#### 4.1.3. Elección De La Bomba Contra Incendios

Para la elección de la bomba contra incendios, se realizó la modelación con los criterios de diseño anteriormente mostrados, obteniendo los siguientes resultados, registrados en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados de cálculos hidráulicos por requerimiento del sistema.

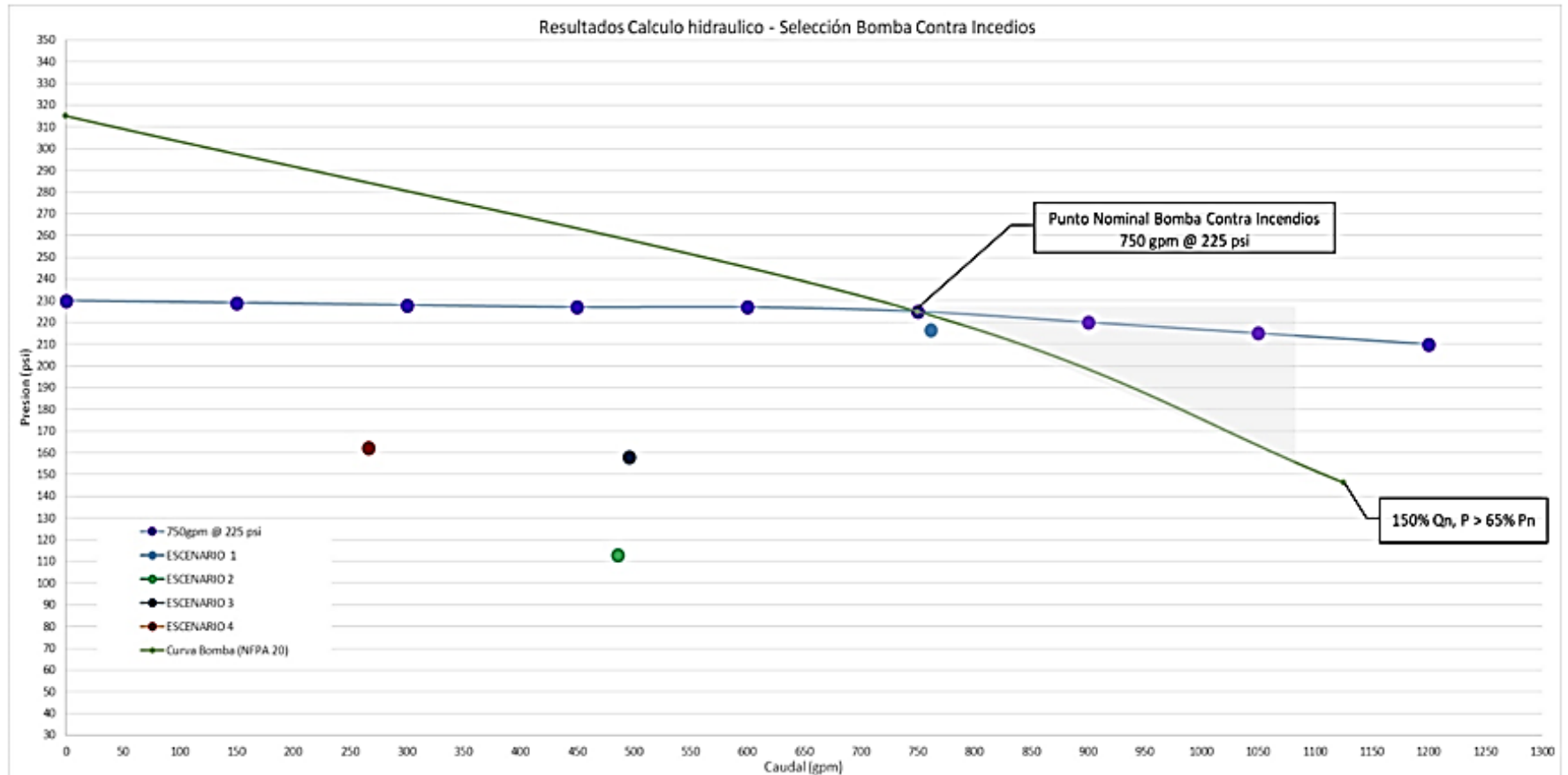
N°	ESCENARIO	Caudal (gpm) teorico	Caudal (gpm) calculado	Presión (psi) calculada	Porcentaje Caudal (%)
1	Conexiones de mangueras	750	762	216	102
2	Archivo general piso 1, sótano 1 y sótano 2	550	485	112	106
3	Parqueadero sótano 1 y sótano 2	475	497	157	105
4	Oficinas, administración y despachos judiciales	250	266	162	107

**Fuente:** FHC CANUTE, 2020.

Estos resultados representan el mínimo requerimiento de cada sistema a la entrada de la descarga de la bomba.

Considerando el comportamiento de requerimiento de la bomba, con base en la curva características del desempeño límite de la bomba (Ver figura 43), que cubre los 4 escenarios mencionados en la Tabla 9, se registra la siguiente gráfica.

Gráfica 1. Ubicación de los escenarios de incendio por requerimiento de una curva de 750 gpm a 225 psi.



Según la gráfica 1, la curva cubre los 4 escenarios mencionados, sin embargo, como se puede observar, el escenario 1 (Conexiones de mangueras en su primera salida de 2 ½”), es el más crítico, debido a que es el más cercano a la curva límite de desempeño de las bombas contra incendios, por lo cual, la NFPA 14 Ed. 2019, en su Núm. 7.10.1.2. enuncia que se debe disponer de una salida extra para la

protección de escaleras con un caudal de 250 gpm, en las 2 conexiones de mangueras hidráulicamente más remotas de tubería vertical. Así determinando una bomba con un caudal nominal de 750 gpm y una presión nominal de 225 psi.

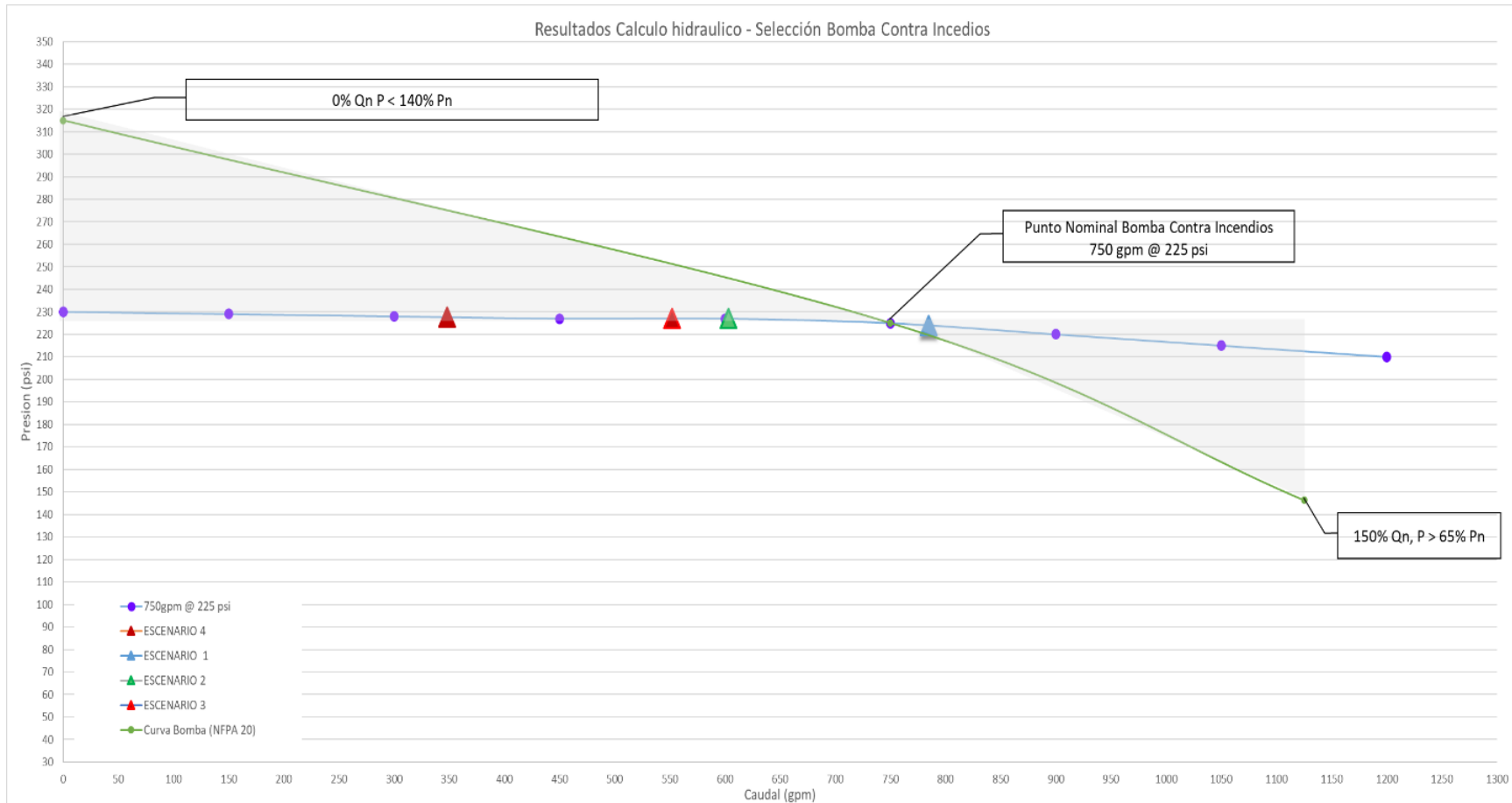
Cuando la bomba cubre toda la exigencia hidráulica de alguno de los 4 escenarios, su comportamiento trabaja sobre la curva característica de la bomba, ajustándose a los requerimientos de dichos escenarios, por lo que en la Tabla 10, se muestra los resultados de cálculos hidráulicos reales o de disponibilidad de las 4 situaciones en estudio y en la gráfica 2 el comportamiento real de la bomba de los 4 escenarios.

Tabla 10. Resultados de los calculo hidráulicos por disponibilidad.

Nº	ESCENARIO	Caudal (gpm) teorico	Caudal (gpm) calculado	Presión (psi) calculada	Porcentaje Caudal (%)
1	Conexiones de mangueras	750	784,49	223,84	105
2	Archivo general piso 1, sótano 1 y sótano	550	603,03	226,9	110
3	Parqueadero sótano 1 y sótano 2	475	552,12	227	116
4	Oficinas, administración y despachos judiciales	250	348,02	227,68	139

**Fuente:** FHC CANUTE, 2020.

Gráfica 2. Ubicación de los diferentes escenarios de incendio por disponibilidad en la curva de una bomba 750 gpm a 225 psi.

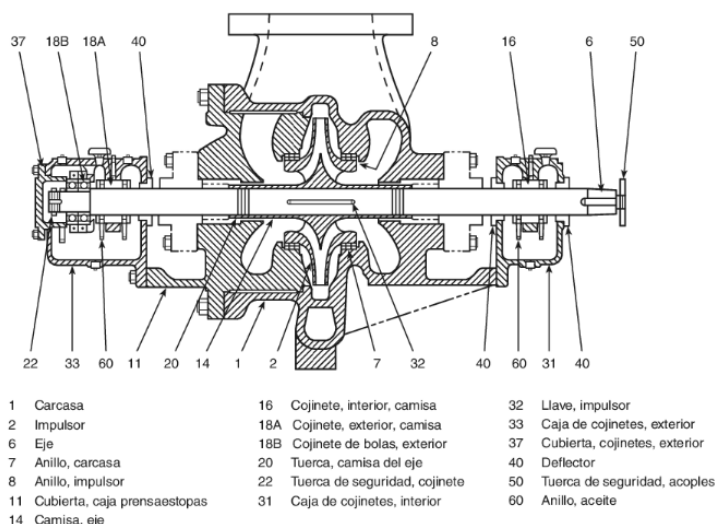


Como se puede evidenciar en la gráfica 2, si no se cumpliera con los requerimientos del escenario 1, tal como se indica en la gráfica 1, el sistema de conexión de mangueras en escala real no estaría dentro de la curva característica de una bomba.

Así mismo y según el Núm. 6.2.1.1. de la NFPA 20. Ed. 2019, para el tipo de bombas centrífugas, se debe proporcionar un caudal igual o superior al 150% del caudal nominal y no menor al 65% de la presión nominal. De igual manera, cuando existe flujo cero, la presión no debe superar el 140% de la presión nominal. Por lo que como se evidencia en la gráfica 2, el flujo 0, registra un caudal nominal ( $Q_n$ ) de 0% y una presión nominal ( $P_n$ ) de 140%, es decir 315 psi, hasta un caudal nominal ( $Q_n$ ) del 150%, es decir 1125 gpm y una presión nominal ( $P_n$ ) del 65 %, es decir 146.25 psi; rango en el cual se comprende el comportamiento real de la bomba.

A partir del caudal y presión esperadas por requerimiento de los sistemas empleados en tal edificación, según el Núm. 6.1.1.3. de la NFPA 20, la bomba a emplear es de tipo centrífuga horizontal de carcasa partida con motor eléctrico, presentada en la Figura 65.

Figura 65. Bomba tipo centrífuga horizontal de carcasa partida con motor eléctrico.



**Fuente:** NFPA 20, 2019.

## 4.2. TERMINAL DE ALMACENAMIENTO DE LÍQUIDOS DE CARTAGENA:

Este espacio fue construido para el almacenamiento de líquidos solubles y no solubles dispuestos en tanques verticales (45 unidades) y horizontales (12 unidades), los cuales cuentan con diferentes dimensiones y capacidades.

### 4.2.1. Sistema De Agua Pulverizada

El incendio producido en los tanques verticales, se considera desde su base hasta su superficie, invadiendo toda el área del mismo, asumiendo que no existe ningún daño estructural y la falla se presenta entre la unión de la tapa y cuerpo de este. Con respecto al caso de estudio a analizar, se tiene en cuenta y emplea únicamente el tanque vertical 2. Los resultados se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Consideraciones del sistema de agua pulverizada para el terminal del almacenamiento de líquidos.

ITEM	CONDICIÓN	VALOR																																																																																																																																				
PASO 1.	Recipiente a proteger	Tanque 2																																																																																																																																				
PASO 2.	Perimetro del tanque P (m) $P = D * \pi$	42,73																																																																																																																																				
2.1.	Diametro del tanque 2 D (m)	13,6																																																																																																																																				
PASO 3.	Altura de enfriamiento (Según Num. 7.3.13 API 2030 Ed. 2005) he (m)	7,4																																																																																																																																				
PASO 4.	Area de diseño A (m <sup>2</sup> ) $A = P * he$	316,17																																																																																																																																				
	Area de diseño A (ft <sup>2</sup> )	3403,34																																																																																																																																				
PASO 5.	Densidad de aplicación d (gpm/ft <sup>2</sup> ) (Según Tabla 1 API 2030 2005.)																																																																																																																																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>Section in API 2030 or Other Indicated Reference</th> <th>Application Rate: Gallons per Minute per Square Foot</th> <th>Application Rate: Liters per Minute per Square Meter</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">Application Rates for General Exposure Protection</td> </tr> <tr> <td>General Exposure Protection</td> <td>7.2.1</td> <td>0.10 - 0.25</td> <td>4.1 - 10.2</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Application Rates for Control of Burning</td> </tr> <tr> <td>Control of Burning</td> <td>7.2.2</td> <td>0.50 - 0.20</td> <td>20.4 - 8.2</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Application Rates for Extinguishment—see note 4</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Extinguishment</td> </tr> <tr> <td>Combustible Solid</td> <td>7.2.3</td> <td>0.15 - 0.30</td> <td>6.1 - 12.2</td> </tr> <tr> <td>Combustible Liquid</td> <td>7.2.3</td> <td>0.35 - 0.50</td> <td>14.6 - 20.4</td> </tr> <tr> <td>Flammable Liquid</td> <td>7.2.3</td> <td colspan="2">(May not be desirable or possible; see text)</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Exposure Protection Application Rates for Specific Equipment &amp; Structures</td> </tr> <tr> <td>Air-fin coolers—see note 1</td> <td>7.3.4</td> <td>0.25</td> <td>10.2</td> </tr> <tr> <td>Atmospheric Storage Tanks</td> <td>7.3.13</td> <td>0.10-0</td> <td>4.1-0</td> </tr> <tr> <td>Compressors—General</td> <td>7.3.6</td> <td>0.25</td> <td>10.2</td> </tr> <tr> <td>—In Buildings</td> <td>7.3.6</td> <td>0.30</td> <td>12.2</td> </tr> <tr> <td>Cooling Towers</td> <td>7.3.10; NFPA 214</td> <td>0.15 - 0.50</td> <td>6.1 - 20.4</td> </tr> <tr> <td>Fixed basket supports</td> <td>7.3.9</td> <td>0.25</td> <td>10.2</td> </tr> <tr> <td>LPG loading racks</td> <td>7.3.11</td> <td>0.25</td> <td>10.2</td> </tr> <tr> <td>Motors</td> <td>7.3.8</td> <td>0.25</td> <td>10.2</td> </tr> <tr> <td>Pipe Racks—see note 2</td> <td>7.3.2</td> <td>0.25</td> <td>10.2</td> </tr> <tr> <td>Pressurized storage tanks</td> <td>7.3.5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Radiant Exposure</td> <td>API Std 2210 &amp; Publ 2210A, 7.3.5 (distance related)</td> <td>0 - 0.10</td> <td>0 - 4.1</td> </tr> <tr> <td>Non-pressure Impingement</td> <td>7.3.5 (design related)</td> <td>0.25 basic minimum see note 3</td> <td>10.2 basic minimum see note 3</td> </tr> <tr> <td>Pressure Impingement</td> <td>7.3.5 (greater than 250 to 500 gpm fire water stream at point of impingement)</td> <td>0.50 minimum plus firewater stream</td> <td>20.4 minimum plus firewater stream</td> </tr> <tr> <td>Process Buildings &amp; Structure</td> <td>7.3.14; NFPA 13</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Primary</td> <td></td> <td>0.30</td> <td>12.2</td> </tr> <tr> <td>Supplemental</td> <td></td> <td>0.15</td> <td>6.1</td> </tr> <tr> <td>Pressure Vessels, Exchangers &amp; Towers—see note 3</td> <td>7.3.5</td> <td>0.25</td> <td>10.2</td> </tr> <tr> <td>Pumps</td> <td>7.3.1</td> <td>0.50</td> <td>20.4</td> </tr> <tr> <td>Transformers</td> <td>7.3.3</td> <td>0.25</td> <td>10.2</td> </tr> <tr> <td>Turbines—General</td> <td>7.3.7</td> <td>0.25</td> <td>10.2</td> </tr> <tr> <td>—In Buildings</td> <td>(7.3.6)</td> <td>0.30</td> <td>12.2</td> </tr> <tr> <td>Well Heads</td> <td>7.3.12</td> <td>0.50</td> <td>20.4</td> </tr> </tbody> </table>	Item	Section in API 2030 or Other Indicated Reference	Application Rate: Gallons per Minute per Square Foot	Application Rate: Liters per Minute per Square Meter	Application Rates for General Exposure Protection				General Exposure Protection	7.2.1	0.10 - 0.25	4.1 - 10.2	Application Rates for Control of Burning				Control of Burning	7.2.2	0.50 - 0.20	20.4 - 8.2	Application Rates for Extinguishment—see note 4				Extinguishment				Combustible Solid	7.2.3	0.15 - 0.30	6.1 - 12.2	Combustible Liquid	7.2.3	0.35 - 0.50	14.6 - 20.4	Flammable Liquid	7.2.3	(May not be desirable or possible; see text)		Exposure Protection Application Rates for Specific Equipment & Structures				Air-fin coolers—see note 1	7.3.4	0.25	10.2	Atmospheric Storage Tanks	7.3.13	0.10-0	4.1-0	Compressors—General	7.3.6	0.25	10.2	—In Buildings	7.3.6	0.30	12.2	Cooling Towers	7.3.10; NFPA 214	0.15 - 0.50	6.1 - 20.4	Fixed basket supports	7.3.9	0.25	10.2	LPG loading racks	7.3.11	0.25	10.2	Motors	7.3.8	0.25	10.2	Pipe Racks—see note 2	7.3.2	0.25	10.2	Pressurized storage tanks	7.3.5			Radiant Exposure	API Std 2210 & Publ 2210A, 7.3.5 (distance related)	0 - 0.10	0 - 4.1	Non-pressure Impingement	7.3.5 (design related)	0.25 basic minimum see note 3	10.2 basic minimum see note 3	Pressure Impingement	7.3.5 (greater than 250 to 500 gpm fire water stream at point of impingement)	0.50 minimum plus firewater stream	20.4 minimum plus firewater stream	Process Buildings & Structure	7.3.14; NFPA 13			Primary		0.30	12.2	Supplemental		0.15	6.1	Pressure Vessels, Exchangers & Towers—see note 3	7.3.5	0.25	10.2	Pumps	7.3.1	0.50	20.4	Transformers	7.3.3	0.25	10.2	Turbines—General	7.3.7	0.25	10.2	—In Buildings	(7.3.6)	0.30	12.2	Well Heads	7.3.12	0.50	20.4	0,1
Item	Section in API 2030 or Other Indicated Reference	Application Rate: Gallons per Minute per Square Foot	Application Rate: Liters per Minute per Square Meter																																																																																																																																			
Application Rates for General Exposure Protection																																																																																																																																						
General Exposure Protection	7.2.1	0.10 - 0.25	4.1 - 10.2																																																																																																																																			
Application Rates for Control of Burning																																																																																																																																						
Control of Burning	7.2.2	0.50 - 0.20	20.4 - 8.2																																																																																																																																			
Application Rates for Extinguishment—see note 4																																																																																																																																						
Extinguishment																																																																																																																																						
Combustible Solid	7.2.3	0.15 - 0.30	6.1 - 12.2																																																																																																																																			
Combustible Liquid	7.2.3	0.35 - 0.50	14.6 - 20.4																																																																																																																																			
Flammable Liquid	7.2.3	(May not be desirable or possible; see text)																																																																																																																																				
Exposure Protection Application Rates for Specific Equipment & Structures																																																																																																																																						
Air-fin coolers—see note 1	7.3.4	0.25	10.2																																																																																																																																			
Atmospheric Storage Tanks	7.3.13	0.10-0	4.1-0																																																																																																																																			
Compressors—General	7.3.6	0.25	10.2																																																																																																																																			
—In Buildings	7.3.6	0.30	12.2																																																																																																																																			
Cooling Towers	7.3.10; NFPA 214	0.15 - 0.50	6.1 - 20.4																																																																																																																																			
Fixed basket supports	7.3.9	0.25	10.2																																																																																																																																			
LPG loading racks	7.3.11	0.25	10.2																																																																																																																																			
Motors	7.3.8	0.25	10.2																																																																																																																																			
Pipe Racks—see note 2	7.3.2	0.25	10.2																																																																																																																																			
Pressurized storage tanks	7.3.5																																																																																																																																					
Radiant Exposure	API Std 2210 & Publ 2210A, 7.3.5 (distance related)	0 - 0.10	0 - 4.1																																																																																																																																			
Non-pressure Impingement	7.3.5 (design related)	0.25 basic minimum see note 3	10.2 basic minimum see note 3																																																																																																																																			
Pressure Impingement	7.3.5 (greater than 250 to 500 gpm fire water stream at point of impingement)	0.50 minimum plus firewater stream	20.4 minimum plus firewater stream																																																																																																																																			
Process Buildings & Structure	7.3.14; NFPA 13																																																																																																																																					
Primary		0.30	12.2																																																																																																																																			
Supplemental		0.15	6.1																																																																																																																																			
Pressure Vessels, Exchangers & Towers—see note 3	7.3.5	0.25	10.2																																																																																																																																			
Pumps	7.3.1	0.50	20.4																																																																																																																																			
Transformers	7.3.3	0.25	10.2																																																																																																																																			
Turbines—General	7.3.7	0.25	10.2																																																																																																																																			
—In Buildings	(7.3.6)	0.30	12.2																																																																																																																																			
Well Heads	7.3.12	0.50	20.4																																																																																																																																			
PASO 6.	Caudal de aplicación Qa (gpm) $Qa = A * d$	340,33																																																																																																																																				
PASO 7.	Separación entre boquillas Sep. Boq. (m)	2,05																																																																																																																																				
PASO 8.	Número de boquillas Nb (Und) $Nb = \frac{P}{Sep.Boq.}$	21,00																																																																																																																																				
PASO 9.	Caudal por boquilla Qb (gpm) $Qb = \frac{Qa}{Nb.}$	16,21																																																																																																																																				
PASO 11.	Factor K $K_{real} = \frac{Km * Kb}{Kmb}$	3,0																																																																																																																																				
10.1	Factor base nominal de conversión Kmb	80																																																																																																																																				
10.2.	Factor base real de conversión Kb	5,6																																																																																																																																				
10.3.	Factor nominal del tanque Km	43,2																																																																																																																																				
PASO 11.	Presión del agua Pa (psi) $Pa = \left(\frac{Qb}{K_{real}}\right)^2$	28,72																																																																																																																																				

Fuente: Elaboración propia.

- ❖ **ANÁLISIS:** teniendo en cuenta los cálculos anteriormente presentados, para el tanque 2 del terminal industrial de líquidos inflamables, se encontró que para la extinción de una conflagración en este elemento son necesarias 21 boquillas con una separación de 2.05 m, las cuales contribuirán con la disminución de la combustión que se genere en los tanques contiguos, por medio de la expulsión de agua en tamaño de pequeñas partículas en forma circular, considerando la altura de enfriamiento, es decir, 7.4 m desde la superficie de la unidad hacia abajo, lo que significa que para el presente caso, con una altura total de 9.15 m, 1.75 m serán protegidos mediante escurrimiento. Para mayor ilustración, ver la Figura 66.

Figura 66. Ilustración de la altura de enfriamiento ( $h_e$ ).



**Fuente:** Khia, 2020.

Por otra parte, se determinó el caudal de aplicación y una presión hídrica con el que contará el sistema y que se distribuirá de manera uniforme en todas las boquillas, siendo este de 340.33 gpm @ 28.72 psi, necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

Para la obtención de los valores reales del sistema se llevó a cabo la modelación del sistema en el software ya mencionado en anteriores párrafos, arrojando que el caudal de consumo y presión residual mínima requeridos son de 12819 L/min @ 7.925 bar (3387 gpm @ 114.9 psi). Ver anexo H9.

### 4.2.2. Sistema De Espuma De Baja Expansión

Tabla 12. Consideraciones del sistema de espuma de baja expansión para el terminal del almacenamiento de líquidos.

ITEM	CONDICIÓN	VALOR														
PASO 1.	Criterio de protección (Según Núm. 5.2.4.1.1 NFPA)	Monitores														
PASO 2.	Presión de operación P (psi) Recomendada para el	100														
PASO 3.	Densidad de aplicación d (gpm/ft <sup>2</sup> ) (Según tabla 5.2.4.2.2. NFPA 11 Ed. 2016)	0,16														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tasa mínima de aplicación</th> <th rowspan="2">Tiempo mínimo de descarga (minutos)</th> </tr> <tr> <th>L/min. m<sup>2</sup></th> <th>gpm/ft<sup>2</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Punto de inflamación entre 37.8°C y 60°C (100°F y 140°F)</td> <td>6.5</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Punto de inflamación menores de 37.8°C (100°F) o líquidos calentados por encima de sus puntos de inflamación</td> <td>6.5</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>Petrolío crudo</td> <td>6.5</td> <td>65</td> </tr> </tbody> </table>			Tasa mínima de aplicación		Tiempo mínimo de descarga (minutos)	L/min. m <sup>2</sup>	gpm/ft <sup>2</sup>	Punto de inflamación entre 37.8°C y 60°C (100°F y 140°F)	6.5	50	Punto de inflamación menores de 37.8°C (100°F) o líquidos calentados por encima de sus puntos de inflamación	6.5	65	Petrolío crudo	6.5	65
Tasa mínima de aplicación		Tiempo mínimo de descarga (minutos)														
L/min. m <sup>2</sup>	gpm/ft <sup>2</sup>															
Punto de inflamación entre 37.8°C y 60°C (100°F y 140°F)	6.5	50														
Punto de inflamación menores de 37.8°C (100°F) o líquidos calentados por encima de sus puntos de inflamación	6.5	65														
Petrolío crudo	6.5	65														
PASO 4.	Caudal de diseño Qd (gpm)	250,19														
	$Qd = tp * d$															
4.1.	Diámetro del tanque 2 D (m)	13,6														
4.2.	Area A (m <sup>2</sup> )	145,27														
	$A = D^2 * 0,7854$															
PASO 5.	Tiempo suministro principal tp (min) (Según tabla 5.2.4.2.2. NFPA 11 Ed. 2016)	1563,70														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tasa mínima de aplicación</th> <th rowspan="2">Tiempo mínimo de descarga (minutos)</th> </tr> <tr> <th>L/min. m<sup>2</sup></th> <th>gpm/ft<sup>2</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Punto de inflamación entre 37.8°C y 60°C (100°F y 140°F)</td> <td>6.5</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Punto de inflamación menores de 37.8°C (100°F) o líquidos calentados por encima de sus puntos de inflamación</td> <td>6.5</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>Petrolío crudo</td> <td>6.5</td> <td>65</td> </tr> </tbody> </table>			Tasa mínima de aplicación		Tiempo mínimo de descarga (minutos)	L/min. m <sup>2</sup>	gpm/ft <sup>2</sup>	Punto de inflamación entre 37.8°C y 60°C (100°F y 140°F)	6.5	50	Punto de inflamación menores de 37.8°C (100°F) o líquidos calentados por encima de sus puntos de inflamación	6.5	65	Petrolío crudo	6.5	65
Tasa mínima de aplicación		Tiempo mínimo de descarga (minutos)														
L/min. m <sup>2</sup>	gpm/ft <sup>2</sup>															
Punto de inflamación entre 37.8°C y 60°C (100°F y 140°F)	6.5	50														
Punto de inflamación menores de 37.8°C (100°F) o líquidos calentados por encima de sus puntos de inflamación	6.5	65														
Petrolío crudo	6.5	65														
PASO 6.	Volumen de suministro principal VP (gal)	12509,59														
	$VP = Qd * tp$															
PASO 7.	Caudal total suplementario QS (gpm)	50														
	$QS = \#s * Qsp$															
7.1.	Número de salidas necesarias (#s)	1														
7.2.	Caudal de protección suplementaria por salida	50														
PASO 8.	Caudal total QT (gpm)	300,19														
	$QT = QS + Qd$															
PASO 9.	Tiempo de suplencia ts (min) (Según 5.9.2.4. NFPA 11 Ed. 2016)															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Diámetro del tanque mayor metros</th> <th>pies</th> <th>Tiempo mínimo de operación*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hasta 10,5</td> <td>Hasta 35</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>10,5 a 28,5</td> <td>35 a 95</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Más de 28,5</td> <td>Más de 95</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>			Diámetro del tanque mayor metros	pies	Tiempo mínimo de operación*	Hasta 10,5	Hasta 35	10	10,5 a 28,5	35 a 95	20	Más de 28,5	Más de 95	30		
Diámetro del tanque mayor metros	pies	Tiempo mínimo de operación*														
Hasta 10,5	Hasta 35	10														
10,5 a 28,5	35 a 95	20														
Más de 28,5	Más de 95	30														
PASO 10.	Volumen de suministro suplementario VS (gal)	500														
	$VS = QS * ts$															
PASO 11.	Volumen total del agua VT (gal)	13009,59														
	$VT = VS + VP$															
PASO 12.	Volumen total de espuma Ve (gal)	390,29														
	$Ve = VT + Ce$															
12.1.	Concentración de espuma Ce (%)	3%														
PASO 13.	Volumen total final del agua Va (gal)	12619,30														
	$Va = VT + Ve$															
	Volumen total final del agua Va (m3)	47,76														

Fuente: Elaboración propia.

- ❖ **ANÁLISIS:** A partir de las dimensiones con las que cuenta el tanque 2, se definió que el criterio de protección a emplear son monitores, definiendo un caudal de diseño, suplementario y total de 250.19 gpm, 50 gpm y 300.19 gpm, respectivamente. Así mismo y como referente del sistema se determina que el porcentaje de concentración de espuma es del 3% con respecto al volumen del agua calculado, obteniendo finalmente un volumen de 47.76 m<sup>3</sup>, con el cual se busca abastecer el sistema una vez sea necesario para la extinción de un incendio.

Debido a que este sistema evalúa el mismo elemento del referente a agua pulverizada, no se realiza la simulación en el software FHC CANUTE.

#### 4.2.3. Elección De La Bomba Contra Incendios

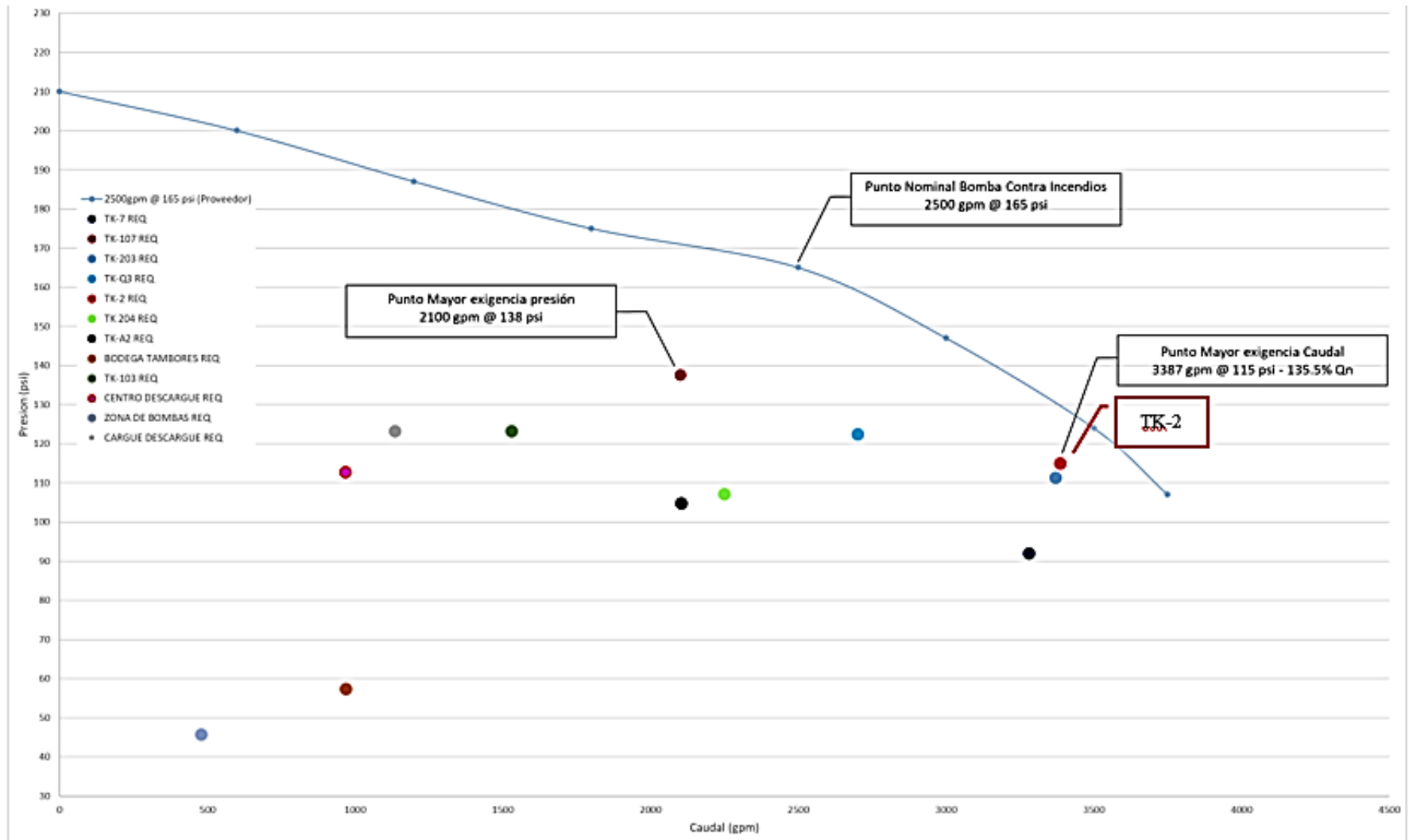
La elección de la bomba contra incendios, se realiza con base en todos los tanques y áreas analizadas dentro del terminal, sin embargo, los datos y características del tanque TK-2, serán resaltados, debido a que tanto el sistema de agua pulverizada como en el sistema de espuma de baja expansión, se calcularon con respecto a dicho tanque. Los resultados hidráulicos por requerimiento se registraron en la Tabla 13 y los resultados hidráulicos por disposición de presentan en la Tabla 14.

Tabla 13. Resultados de cálculos hidráulicos por requerimiento del sistema.

Nº	Tanque/Área	Cudal (gpm)	Presión (psi)	Caudal (lpm)	Presión (bar)	Ajuste (%)	% Bomba
1	TK-7 REQ	3280	92	12415	6,34	107,7	131,2
2	TK-107 REQ	2100	138	7948	9,48	109,2	84
3	TK-A2 REQ	2104	105	7962	7,22	104	84,1
4	TK-203 REQ	3371	111	12758	7,67	105,7	134,8
5	TK-Q3 REQ	2701	122	10224	8,44	107,5	108
<b>6</b>	<b>TK-2 REQ</b>	<b>3387</b>	<b>115</b>	<b>12819</b>	<b>7,92</b>	<b>103,8</b>	<b>135,5</b>
7	TK-204 REQ	2249	107	8513	7,39	110	90
8	BODEGA TAMBORES REQ	969	57	3667	3,96	103,9	38,8
9	TK-103 REQ	1528	123	5784	8,5	103,2	61,1
10	CENTRO DESCARGUE REQ	968	113	3664	7,77	117	38,8
11	ZONA DE BOMBAS REQ	479	46	1815	3,15	104,7	19,2
12	CARGUE DESCARGUE REQ	1136	123	4299	8,5	101,8	45,4

**Fuente:** FHC CANUTE, 2020.

Gráfica 3. Ubicación de los tanques y/o escenarios de incendios por requerimiento para una curva de 2500 gpm a 165 psi.



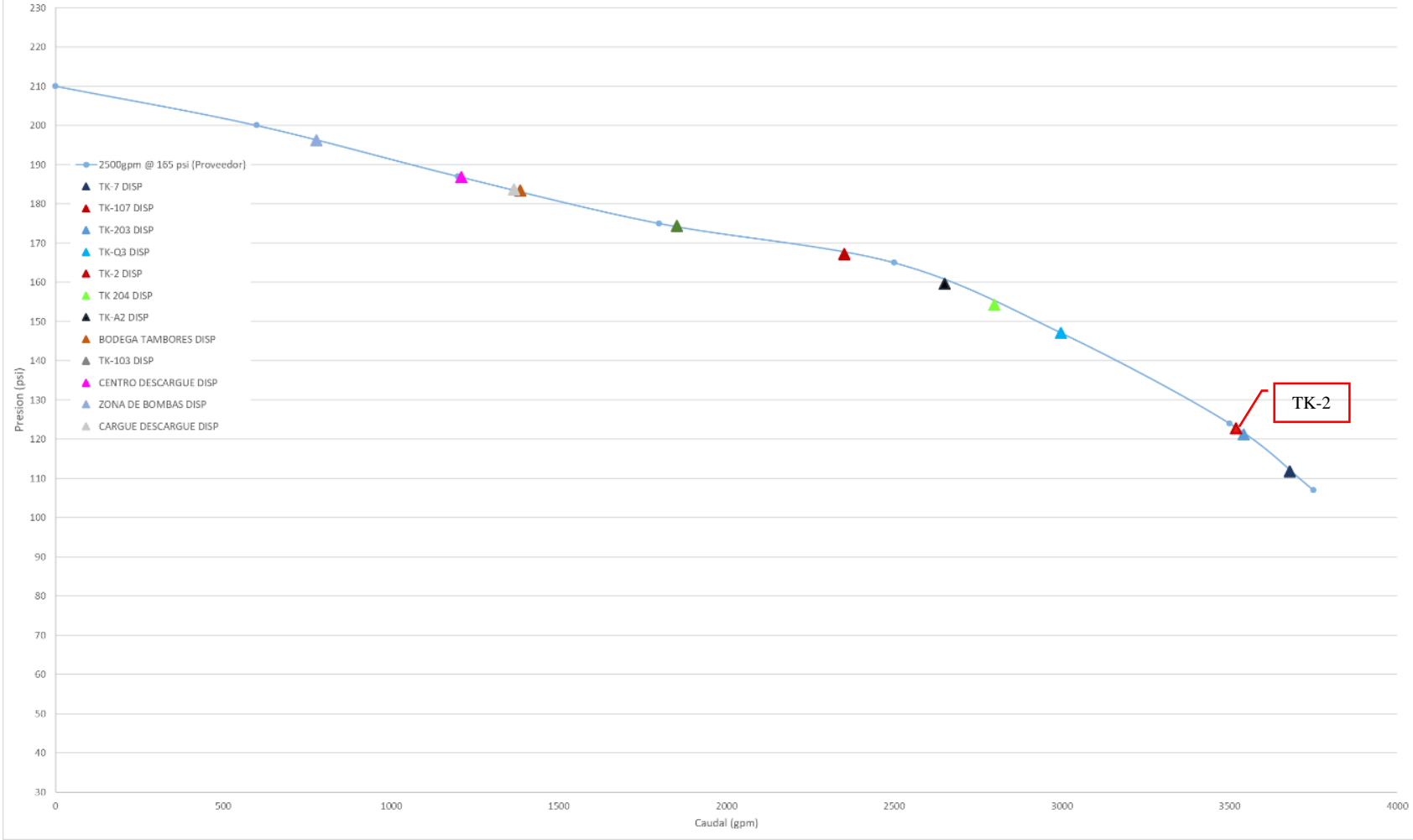
Como se puede ver en la gráfica 3, el tanque 2 (TK-2), localizado en la parte derecha de la misma, requiere de un caudal mayor al suministrado por la bomba, en un 135.5% (Qn).

Tabla 14. Resultados de cálculos hidráulicos por disposición del sistema.

Nº	Tanque/Área	Cudal (gpm)	Presión (psi)	Caudal (lpm)	Presión (bar)
1	TK-7 DISP	3680	112	13930	7,7
2	TK-107 DISP	2352	167	8901	11,52
3	TK-A2 DISP	2651	160	10034	11
4	TK-203 DISP	3543	121	13409	8,35
5	TK-Q3 DISP	2999	147	11350	10,14
<b>6</b>	<b>TK-2 DISP</b>	<b>3520</b>	<b>123</b>	<b>13322</b>	<b>8,46</b>
7	TK-204 DISP	2800	154	10597	10,63
8	BODEGA TAMBORES DISP	1386	183	5245	12,64
9	TK-103 DISP	1852	174	7011	12,01
10	CENTRO DESCARGUE DISP	1209	187	4577	12,88
11	ZONA DE BOMBAS DISP	777	196	2942	13,52
12	CARGUE DESCARGUE DISP	1367	184	5175	12,66

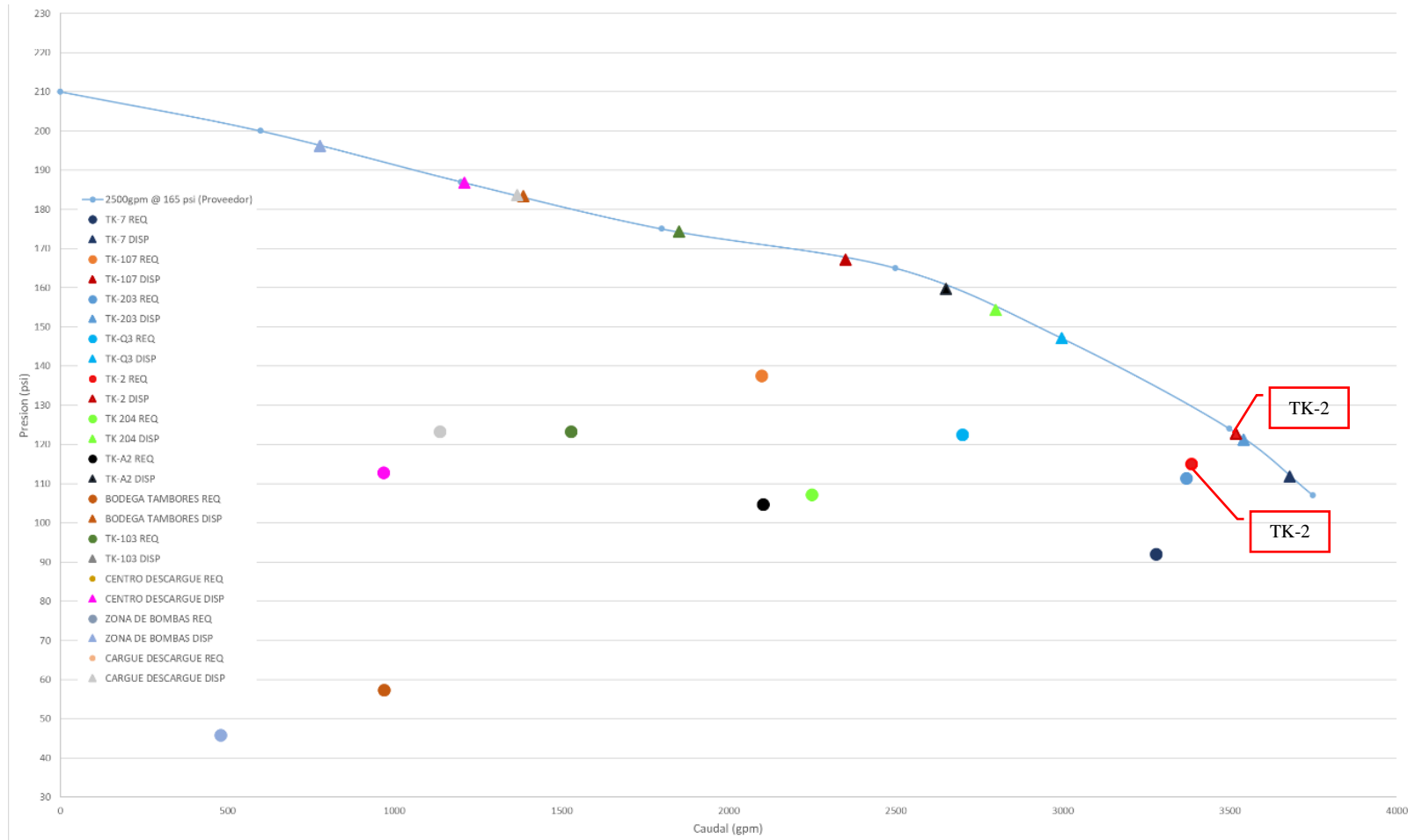
Fuente: FHC CANUTE, 2020.

Gráfica 4. Ubicación de los tanques y/o escenarios de incendios por disposición para una curva de 2500 gpm a 165 psi.

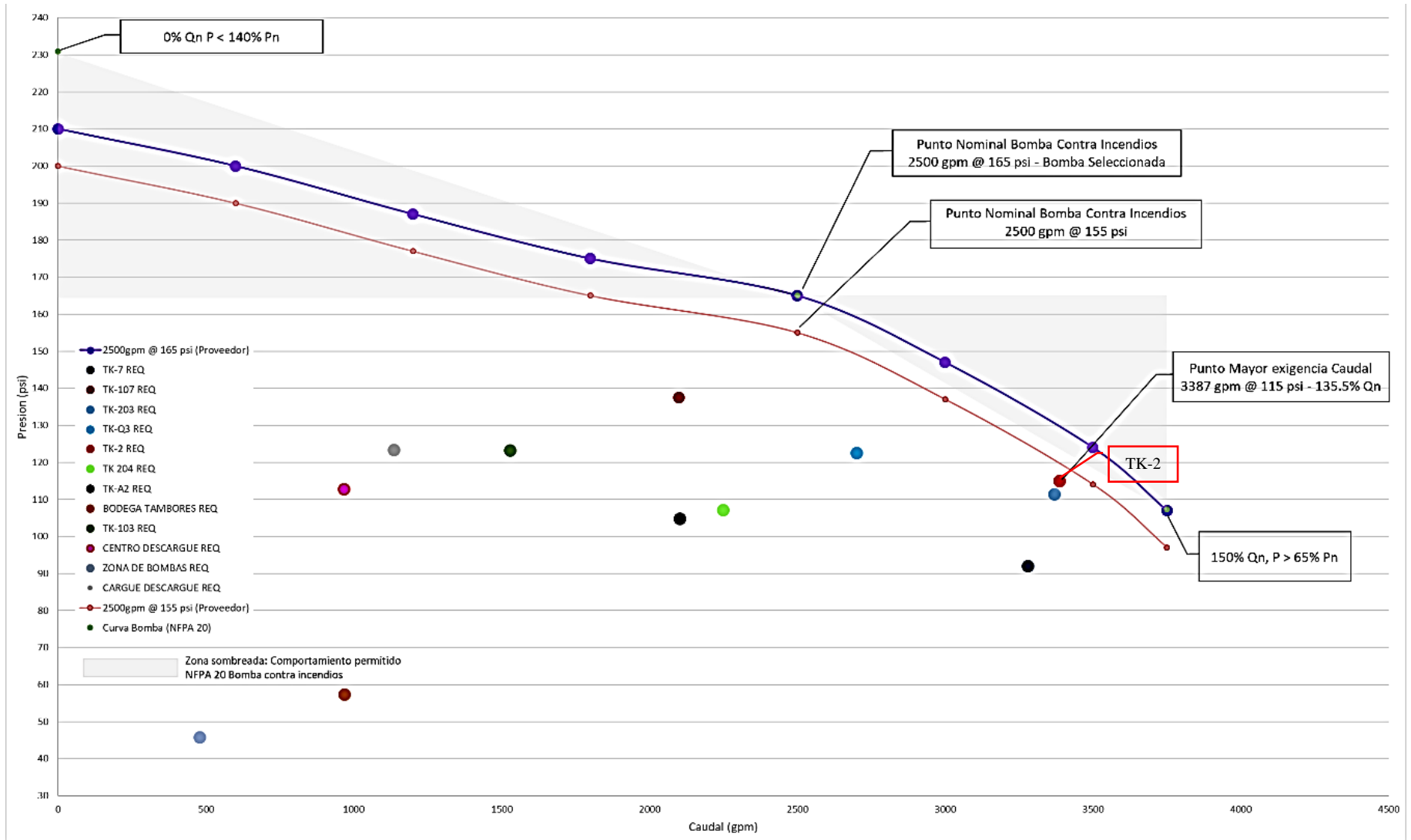


Al considerar la disposición real tanto de caudal como de presión de los tanques, se puede evidenciar en la gráfica 4 que los escenarios se sobrepone en la curva característica del desempeño límite de la bomba, (Ver Figura 43) razón por la cual no se contaría con un factor de seguridad para el caudal y la presión requeridos.

Gráfica 5. Ubicación de los tanques y/o escenarios de incendios por requerimiento vs disposición para una curva de 2500 gpm a 165 psi.



Gráfica 6. Ubicación de los tanques y/o escenarios. Selección de bomba contra incendios.

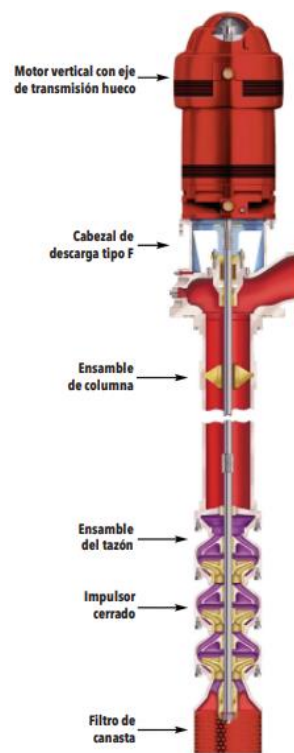


Como se puede observar en la gráfica 6, se presentan los escenarios por requerimiento, así como las 2 curvas de la bomba tipo turbina vertical de 2500 gpm a 155 psi y 2500 gpm a 165 psi, las cuales pueden variar su comportamiento considerando la zona sombreada aquí mostrada, cuyo rango se establece desde el flujo cero y el 140% Pn, hasta el 150% del Qn y 65% de Pn.

Considerando la localización de cada una de las curvas, la que presenta 2500 gpm a 155 psi, no puede ser utilizada, debido a que precisamente el tanque analizado en el presente informe (TK-2), se encuentra muy cercana a dicha curva, por lo que no contempla un factor de seguridad en cuanto a la presión, con 15 psi; además de lograr una cobertura total para todos los escenarios en estudio. Estableciendo finalmente que la bomba a usar es la que cuenta con la capacidad de 2500 gpm y 165 psi comprendidos desde un flujo cero (0 gpm) a 140% de la Pn (231 psi), hasta un 150% del Qn (3750 gpm) a 65% de la Pn (107.25 psi), como lo indica la NFPA 20 Ed. 2019, en su Núm. 7.1.2.

Por otra parte, al Terminal de líquidos inflamables, estar ubicado en Cartagena, su principal punto de captación hídrica es a través de un foso de succión conectado directamente desde al mar; como el nivel del foso de succión está por debajo del nivel de la plataforma, es necesario una bomba que logre trabajar con un nivel de agua más bajo del suelo. Razón por la cual, la bomba elegida tipo turbina vertical, debido a que cuenta con una columna de impulsión, junto con elementos como impeler o tazones sumergidos, además de un engranaje de ángulo recto, permitiendo la rotación del motor y la transferencia hídrica. Dicha bomba se presenta en la Figura 67.

Figura 67. Bomba tipo turbina vertical.



**Fuente:** Xylem, 2015.

## 5. CONCLUSIONES

- La metodología de cálculo de cada sistema, permite evaluar los criterios de diseño que se deben tener en cuenta en cada lugar a intervenir. Así mismo, contribuye a que los estudiantes o demás personas que desconozcan el tema, se introduzcan en este de una manera fácil y sencilla.
- Este proyecto consolidó y facilitó el entendimiento acerca del proceso a considerar en un sistema de extinción de incendios.
- La protección contra incendios, se debe considerar en igual magnitud a las demás especialidades de la ingeniería civil, debido a que también puede afectar las edificaciones, el cual es el objeto de estudio de dicha rama.
- La protección contra incendios debe ser implementado en diferentes edificaciones y espacios al aire libre, con el fin de salvaguardar las vidas humanas y los bienes materiales ante cualquier situación que se presente de este tipo.

## **6. RECOMENDACIONES**

- Se deben considerar las características de los lugares a intervenir, esto para identificar la normatividad a emplear, resaltando las buenas prácticas de ingeniería.
- Se recomienda realizar, por parte de las instituciones de educación superior, más específicamente, las facultades de ingenierías, mayores investigaciones en cuanto a los sistemas de protección contra incendios. tanto de extinción como de detección; incluso ser introducida como materia dentro de cada pensum, debido a que, el tema que se está tratando dentro de este proyecto, necesita de los conocimientos adquiridos a lo largo del desarrollo de estas carreras universitarias.
- Como en toda situación, se sugiere tener presente un conocimiento previo acerca del tema, así de ser necesario, se puede emitir un concepto para lograr la optimización de los sistemas a emplear.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bermeo, A., (2017), Análisis del volumen óptimo de un tanque de almacenamiento para un sistema contra incendio, bibliotecas del Ecuador, 5-6
- Blanco, M., y Martínez, J., (2016), Guía para el diseño de sistemas de protección contra incendios, enfocadas en redes internas de edificaciones, Bitstream, 13.
- Caracol Radio, (2018). Los mejores restaurantes de Colombia. Bogotá. Recuperado de: [https://caracol.com.co/programa/2018/04/26/audios/1524701233\\_303069.html](https://caracol.com.co/programa/2018/04/26/audios/1524701233_303069.html)
- Central Recambio Original, (2014). ¿Cómo se estructura un taller mecánico? Bogotá. Recuperado de: <http://www.recambiooriginal.com/blog/corporativas-cro/se-estructura-mercado-espanol-talleres-reparacion/>
- Chiu-Rodríguez, Y. C., & Corvo-Pérez, F. (2011). Estudio de caso sobre la degradación del hormigón armado sometido a elevadas temperaturas durante un incendio. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 42(2/3), 1–8.
- Clasf. (2019). Plantas eléctricas colombianas. Bogotá. Recuperado de: <https://www.clasf.co/>
- Complejo Hospitalario Universitario de Albacete. (CHUA). (2018). Conato de emergencia. Madrid: *Chospab*. Recuperado de [https://www.chospab.es/plan\\_emergencias/tipos.htm](https://www.chospab.es/plan_emergencias/tipos.htm).
- Cruz Roja Americana. (2020). Tipos de emergencias. Colombia: *Cruz Roja*. Recuperado de <https://www.redcross.org/cruz-roja/obtener-ayuda/tipos-de-emergencias.html>.
- Díaz S. y Rozo, W., (2018), Guía para el diseño hidráulica de redes contra incendio, mediante el estudio de caso del edificio la quinta (chapinero, Bogotá D.C), Universidad Piloto de Colombia, 11-12.
- DNBC. (2019). Eventos atendidos por Bomberos Colombia. Bogotá, Colombia: *Entidad Administrativa Estatal DNBC Dirección Nacional Bomberos Colombia*. Recuperado de <https://bomberos.mininterior.gov.co/sala-de-prensa/noticias/eventos-atendidos-por-bomberos-colombia>.
- Dorbelly, O., y Campos E., (2010). Diseño De Un Sistema De Protección Contra Incendios Para La Dirección De Tecnología, Información Y Comunicación De La Universidad Central De Venezuela, Bitstream, 7-8.
- EMCALI. (2012). Instalación y/o reposición de hidrantes y sistema para válvulas en redes secundarias de distribución de acueducto. Cali: Norma técnica de distribución de agua potable. Recuperado de: <https://www.emcali.com.co/documents/107516/125042/NCO-SE-DA-006.pdf>.
- Especial impresores. (2015). Especialidad en la industria gráfica. Medellín. Recuperado de: <http://www.especial.com.co/acerca.php>.

- HANDBOOK NFPA 13. (2016). National Fire Protection Association, California, Estados Unidos, 20 de abril de 2020.
- Ilunion, (2019). Lavanderias industriales en Colombia. Bogotá. Recuperado de: <https://www.ilunionlavanderia.com/es/colombia>
- Industria travel. (2012). Empresas de alimentación. Bogotá. Recuperado de: <http://industrial.travel/alimentacion?cat>
- Juez P., (2015). Protección contra incendios. Bogotá. Presentación Enarfire Consulting. Recuperado de: <http://pabloandresjuez.blogspot.com/2015/07/presentacion-enarfire-consulting.html>.
- Lamudi. (2017). Oficinas en venta en Bogotá. Bogotá. Recuperado de: <https://www.lamudi.com.co/bogota-dc/bogota/offices/for-sale/>
- Libros y letras. (2016). Bibliotecas públicas en Colombia. Bogotá. Recuperado de: <https://www.librosyletras.com/2016/02/abiertas-las-convocatorias-para-las.html>.
- López, Hernandez y Estrada. (2017). ¿Qué tan eficiente es su planta de procesamiento de plásticos?. Bogotá. Recuperado de: <http://www.plastico.com/temas/Que-tan-eficiente-es-su-planta-de-procesamiento-de-plasticos+119227>
- Luna, E., (2016), Diseño De Un Sistema De Protección Contra Incendios Para El Teatro De Bogotá De La Universidad Central. Pontificia Universidad Javeriana, 6-7.
- Metacol. (2016). Hidrante tipo milán barril húmedo. Bogotá: Metacol. Recuperado de: [https://www.metacol.com/wp-content/uploads/2016/08/Hidrante\\_Tipo\\_Milan.pdf](https://www.metacol.com/wp-content/uploads/2016/08/Hidrante_Tipo_Milan.pdf).
- Metacol. (2016). Hidrante tipo trafico barril húmedo. Bogotá: Metacol. Recuperado de: [https://www.metacol.com/wp-content/uploads/2016/08/Hidrante\\_Tipo\\_Trafico.pdf](https://www.metacol.com/wp-content/uploads/2016/08/Hidrante_Tipo_Trafico.pdf).
- Molano J. y Rodríguez, L., (2017), Diseño del sistema contra incendios de extinción y detección para la facultad tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, conforme a la norma NFPA y la NSR-10, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 14-15.
- Moncada, J. y Moncada J. A. (2009). Bombas estacionarias contra incendios. J. Moncada y J. A. Moncada (Ed.), Manual de protección contra incendios. *Quinta Edición en español. Vol II*. Bogotá, Colombia: MAPFRE.
- NFPA. (2020). NFPA en español, ¿Quiénes somos?. Estados Unidos: *NFPA JOURNAL*. Recuperado de: <https://www.nfpajla.org/nfpa-en-latioamerica/nfpa-en-espanol>.
- NFPA 11. (2016). National Fire Protection Association, Boston, Estados Unidos, 20 de abril de 2020.
- NFPA 13. (2019). National Fire Protection Association, Boston, Estados Unidos, 20 de abril de 2020.
- NFPA 14. (2019). National Fire Protection Association, California, Estados Unidos, 20 de abril de 2020.

- NFPA 15. (2017). National Fire Protection Association, California, Estados Unidos, 20 de abril de 2020.
- NFPA 20. (2019). National Fire Protection Association, Boston, Estados Unidos, 20 de abril de 2020.
- NSR10 (2010). Título K. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. (pp. 11). Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Nuevo Instrumento para Protección Contra Incendios. (2014). Textiles Panamericanos, 74(4), 46.
- ONEMI. (2019). Incendio estructural, Infórmate y prepárate. Chile. *ONEMI, Ministerio del Interior y Seguridad Pública*. Recuperado de <https://www.onemi.gov.cl/incendios-estructurales/>.
- Prevencionar. (2019). Caso práctico ¿Cómo almacenar inflamables en el exterior?. Bogotá. Recuperado de: <https://prevencionar.com/2017/04/03/caso-practico-almacenar-inflamables-exterior/>
- Prodeseg. (2019). Hidrante petrolero de agua de 6" con dos salidas laterales de 2 ½" y una frontal de 4" o 5". Medellín: Prodeseg. Recuperado de: <https://prodeseg.com.co/producto/hidrante-petrolero-de-agua-de-6-con-dos-salidas-laterales-de-2-1-2-y-una-frontal-de-4-o-5/>.
- Protech. (2019). Extinción por gases. Protech. Recuperado de: <http://www.gxxiprotech.com/extintores.htm>.
- Ruva Seguridad. (2019). ¿Qué es un hidrante? Bogotá. Recuperado de: <https://www.ruvaseguridad.com/blog/que-es-un-hidrante/index.html>.
- Satirnet. (2014). Formas de extinción del fuego. Bogotá: Satirnet Safety. Recuperado de: <http://www.satirnet.com/satirnet/2014/10/31/formas-de-extincion-del-fuego/>.
- Semana, (2020). Mejores colegios de Colombia. Bogotá. Recuperado de: <https://www.semana.com/educacion/articulo/ranking-de-colegios-de-colombia-los-mejores-colegios-del-pais/540328>.
- Sotelo M., (2014), Diseño conceptual del sistema hidráulico de protección contra incendios para la Universidad Católica de Colombia sede el claustro en la ciudad de Bogotá D.C, Bitstream, 1-6.
- Synistor, (2016). ¿Qué es el muro contra fuego?. Lima, Peru. Recuperado de: <https://synixtor.com/que-es-el-muro-cortafuego/>
- Torrez N., (2010), Diseño Del Sistema De Protección Contra Incendios Con Base A Extinción Automática Para El Edificio Aquinate De La Universidad Santo Tomás, Bitstream, 9-10.
- Youtube. (2018). Como Tapizar tablero de auto de una Forma Fácil. Bogotá. Recuperado de: [https://www.youtube.com/watch?v=3\\_qWfvfxWQg](https://www.youtube.com/watch?v=3_qWfvfxWQg)
- Zapata. (2019). Diagrama de Moody: ecuaciones, para qué sirve, aplicaciones. Bogotá, Colombia. Lifeder. Recuperado de: <https://www.lifeder.com/diagrama-moody/>.

## 8. ANEXOS

### ANEXO A: CONCEPTOS BÁSICOS

Anexo A1. Principales propiedades del agua.

Viscosidad hídrica constante en el rango de Temperatura	Densidad del agua en vacío	Densidad del agua en aire	Energía para cambio de fase hídrico sólido a líquido	Calor específico del agua	Calor latente de evaporación del agua	Expansión hídrica de líquida a vapor
1-99 °C (34- 210) °F	62.43 Lbm/ft <sup>3</sup> (1000 Kg/m <sup>3</sup> )	62.35 Lbm/ft <sup>3</sup> (998.7 Kg/m <sup>3</sup> )	333.2 KJ/kg K (143.4 Btu/lb)	4186 KJ/kg K (1.0 Btu/lb)	2260 KJ/kg (970.3 Btu/lb)	3.8 L de agua a 6.3 m <sup>3</sup> de vapor.

**Fuente:** Elaboración propia, con base en (Moncada y Moncada, 2009)

### ANEXO B: CLASIFICACIÓN DE OCUPACIÓN, RIESGO Y MERCANCÍA

- **Riesgo Ligero**

Anexo B2. Edificio de oficinas.



**Fuente:** Lamudi, 2017.

Anexo B4. Ocupación residencial.



**Fuente:** Lamudi, 2017.

Anexo B3. Escuelas.



**Fuente:** Semana, 2020.

Anexo B5. Sala de reuniones públicas.



**Fuente:** Lamudi, 2017.

- **Riesgo ordinario:**

Anexo B6. Fábricas de conservas.



**Fuente:** Industria travel, 2012.

Anexo B8. Restaurantes.



**Fuente:** Caracol Radio, 2018.

Anexo B10. Biblioteca.



**Fuente:** Libros y letras, 2016.

Anexo B12. Ensamble de productos en madera.



**Fuente:** Interempresas, 2019.

Anexo B7. Planta eléctrica.



**Fuente:** Clasf, 2019.

Anexo B9. Lavandería.



**Fuente:** Ilunion, 2019.

Anexo B11. Talleres de reparación.



**Fuente:** Central Recambio Original, 2014.

- **Riesgo extra:**

Anexo B13. Área de uso de fluidos combustibles.



**Fuente:** Prevencionar, 2019.

Anexo B15. Tapizado con espumas de plástico.



**Fuente:** Youtube, 2018.

Anexo B17. Procesamiento de plástico.



**Fuente:** López, Hernandez y Estrada, 2017.

Anexo B14. Imprentas.



**Fuente:** Especial impresores, 2015.

Anexo B16. Pulverización de líquidos inflamables.



**Fuente:** Youtube, 2018.

## ANEXO C: ROCIADORES AUTOMÁTICOS

Anexo C18. Clasificaciones de temperatura de los rociadores automáticos.

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

**Fuente:** Elaboración propia, con base en (Moncada y Moncada, 2009).

Anexo C19. Clasificaciones de temperatura de los rociadores de acuerdo con la distancia desde la fuente de calor.

Condición de tipo de calor	Clasificación de grado ordinario	Clasificación de grado intermedio	Clasificación de alto grado
(a) Conductos que se calientan.			
1. Por encima	Más de 2 pies (6 pulg.)	2 pies 6 pulg o inferior.	
2. Al lado y por debajo	Más de 1 pie (0 pulg.)	1 pie 0 pulg o inferior	
3. Difusor	Cualquier distancia excepto lo que se indica abajo Grado intermedio columna de clasificación.	Descarga descendente: Cilindro con radio de 1 pie 0 pulg desde el borde que se extiende 1 pie 0 pulg por encima. Descarga horizontal: semi cilindro con radio de 2 pies 6 pulg en dirección del caudal que se extiende 1 pie 0 pulg por debajo y 2 pies 6 pulg por encima.	
(b) Calentador de unidad		Lado de descarga: cilindro en forma de pastel con un radio de 7 pies 0 pulg a 20 pies 0 pulg que se extiende a 7 pies 0 pulg por encima y 2 pies 0 pulg por debajo del calentador; también un cilindro de radio de 7 pies 0 pulg por encima del calentador de unidad.	Cilindro con un radio de 7 pies 0 pulg que se extiende a 7 pies 0 pulg por encima y 2 pies 0 pulg por debajo del calentador de unidad.
1. Descarga horizontal			

2.	Descarga vertical descendente		Cilindro de radio de 7 pies 0 pulg que se extiende hacia arriba desde una elevación de 7 pies 0 pulg por encima del calentador de unidad.	Cilindro con un rad. de 7 pies 0 pulg que se extiende desde la parte superior del calentador de unidad hasta una elevación a 7 pies 0 pulg x encima del calentador de unidad.
(c)	Tuberías ppal, de vapor			
1.	Por encima	Más de 2 pies (6 pulg)	2 pies 6 pulg o inferior.	
2.	Al lado y por debajo	Más de 1 pies (0 pulg)	1 pie 0 pulg o inferior	7 pies 0 pulg o inferior.
3.	Válvula de descarga	Más de 7 pies (0 pulg)		

Anexo C19. (Continuación)

**Fuente:** Elaboración propia, con base en (Moncada y Moncada, 2009)

Anexo C20. Clasificaciones de los rociadores en ubicaciones específicas.

Ubicación	Clasificación de grado ordinario	Clasificación de grado intermedio	Clasificación de grado ordinario
Claraboyas		Vidrio o plástico	
Áticos	Ventilado	Sin ventilación	
Techo puntiagudo: tablas metálicas o delgadas, tapado o sin tapar, aislado o sin aislar	Ventilado	Sin ventilación	
Techo plano; de metal, sin tapar	Ventilado o sin ventilar	Nota: Para techos con aislamiento, el clima y el aislamiento o la ocupación sin aislar pueden requerir rociadores intermedios.	
Techo plano; de metal, tapado, aislado o sin aislar	Ventilado	Sin ventilación	
Ventanas de exhibición	Ventilado	Sin ventilación	

**Fuente:** Elaboración propia, con base en (Moncada y Moncada, 2009)

Anexo C21. Tamaños de orificio para rociadores de tamaño inferior a K=5.6.

Factor K nominal gpm/ (psi) <sup>1/2</sup>	Factor K nominal L/min/ (bar) <sup>1/2</sup>	% de descarga vs rociador K=5.6
1.4	20	25
1.9	30	33.3
2.8	40	50
4.2	60	75
5.6	80	100

**Fuente:** Elaboración propia, con base en (Moncada y Moncada, 2009)

Anexo C22. Tamaños de orificio para rociadores de tamaño superior a K=5.6.

Factor K nominal gpm/ (psi) <sup>1/2</sup>	Factor K nominal L/min/ (bar) <sup>1/2</sup>	% de descarga vs rociador K=5.6
5.6	80	100
8.0	110	140
11.2	160	200
14.0	200	250
16.8	240	300
19.6	280	350
22.4	320	400
25.2	360	450
28.0	400	500

**Fuente:** Elaboración propia, con base en (Moncada y Moncada, 2009).

### ANEXO D. SISTEMAS DE SUPRESIÓN DE INCENDIOS CON AGUA PULVERIZADA, NEBULIZADA Y ESPUMA

Anexo D23. Mecanismos de extinción con agua nebulizada y su aplicación.

Mecanismos	Principio de aplicación
Primario	
Extracción de calor	La distribución del tamaño de las gotas, el impulso y el gasto masivo suministrado al fuego, luego de las perdidas en las superficies interiores y construcciones, deben ser suficientes para absorber un porcentaje importante del calor liberado por el fuego. Diseñado para: Principio de aplicación
Desplazamiento de oxígeno Mecanismos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Encerrar el fuego para contener el agua evaporada.</li> <li>2. Utilizar la dinámica de las boquillas para hacer que el vapor del agua llegue hasta la base del incendio.</li> </ol>
Atenuación de calor radiante	El agua nebulizada debe:
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hasta las superficies sin quemar</li> <li>2. Hasta las superficies en llamas</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rodear el incendio.</li> <li>2. Penetrar la llama.</li> </ol>
Secundario	
Dilución del vapor/aire	Significativo para incendios de charco o por pulverización de combustibles líquido. Debe tener cerramiento o control de las propiedades dinámicas de la pulverización para distribuir el diluyente sobre la superficie combustible. El diseño de la boquilla puede influenciar el arrastramiento de aire, y por lo tanto la dilución.
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Por vapor de agua</li> <li>2. Por aire arrastrado</li> </ol>	
Efectos cinéticos	Difíciles de predecir o controlar. Se aplica el control de la deflagración reduciendo la velocidad del frente de la llama, y por lo tanto la sobrepresión de la explosión. Impredecible: el agua nebulizada puede suprimir o reforzar la combustión.
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reducir la velocidad de las llamas</li> <li>2. Acelerar las reacciones de la combustión</li> </ol>	

**Fuente:** Elaboración propia, con base en (Moncada y Moncada, 2009).

Anexo D24. Tipos de boquillas para generar agua nebulizada para los sistemas de supresión de incendios, con algunos ejemplos de fabricantes.

Rango y tipo de presión	Mecanismo de formación de la pulverización y elementos de la boquilla				
	Choque	Choque o chorros	Chorro a presión	Fluido doble	Agua muy calentada
Baja presión (hasta 12 bar (175 psi))	Orificio de 3 mm; variedad de forma del disco del choque, boquillas de pulverización NFPA 15, Minimax.	No disponible	Grupos de pequeños orificios del rango de ≈ 1 mm. Tipo remolino.	Combinan aire comprimido más agua. Securiplex	Evaporación instantánea condensación; supresión de explosiones. Micro mist.
Presión intermedia (175 psi a 500 psi) (12 bar a 34 bar)	Orificio ≈ 1 mm (Rociador Aquamist GW Fike Micro mist)	Orificios < 1 mm. Los chorros colisionan entre sí. (Kidde – Deugras)	Grupos de pequeños orificios del rango de ≈ 1 m, tipo remolino.	No disponible	No disponible
Alta presión > 34 bar (> 500 psi)	No disponible	Orificios < 1 mm (Ultrafog)	Grupos de orificios: de 0.5 a 1.5 mm de diam.	Boquilla de fluido doble, de alta velocidad para la supresión de explosiones (Primex)	No disponible
Boquilla diluvio, normalmente abierta	Todos los fabricantes	Todos los fabricantes	Todos los fabricantes	Todos los fabricantes	Un fabricante
Boquilla automática, normalmente cerrada	Rociador Aquamist GW	Ultrafog	Marioff Fogtec	No disponible	No disponible

**Fuente:** Elaboración propia, con base en (Moncada y Moncada, 2009).

## ANEXO E: SISTEMAS DE COLUMNAS DE AGUA Y CONEXIONES PARA MANGUERAS

Anexo E25. Límites de presión para las bocas de salida de los sistemas de columna reguladora.

Uso de la boca de salida	Presión residual mínima	Se requiere un dispositivo regulador de presión cuando la presión sobrepasa
Conexión de manguera de 38 mm (1 ½”) con manguera preconectada	65 psi (448 kPa)	100 psi (690 kPa)
Conexión de manguera de 38 a 64 mm (de 1 ½” a 2 ½”) sin manguera preconectada	100 psi (690 kPa)	175 psi (1207 kPa)
Conexión del sistema de rociadores	Por NFPA 13	175 PSI (1207 kPa)

**Fuente:** Elaboración propia, con base en (Moncada y Moncada, 2009)

## ANEXO F: BOMBAS ESTACIONARIA CONTRA INCENDIOS

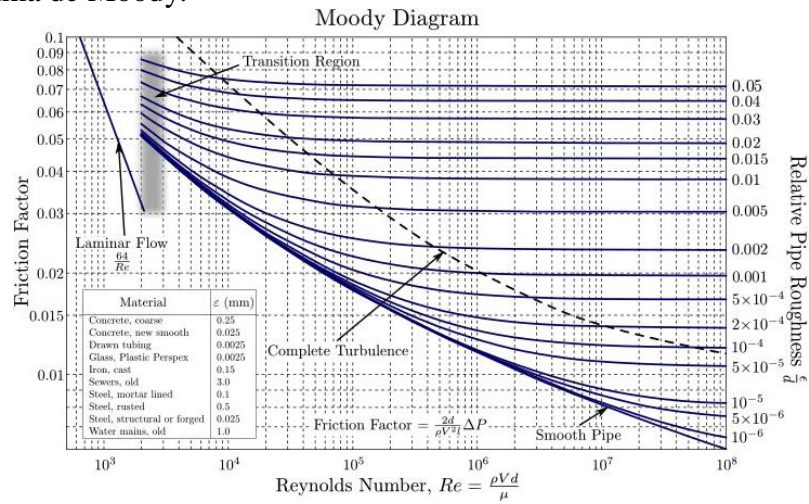
Anexo F26. Tipos de bomba y sus rangos de presión y capacidad.

Tipo de bomba	Rango de presión		Rango de capacidad	
	Psi	KPa	Gpm	L/s
Extremo de succión horizontal	40-186	276-1282	25-750	1.6-31.5
Succión en línea	40-186	276-1282	25-750	1.6-31.5
Caja hendida (horizontal y vertical)	40-294	276-2027	150-5000	9.5-31.5
Turbina vertical	25-510	179-3516	250-5000	15.8-315.4

**Fuente:** Elaboración propia, con base en (Moncada y Moncada, 2009).

## ANEXO G: HIDRÁULICA PARA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Anexo G27. Diagrama de Moody.



**Fuente:** Zapata, 2019.

### Anexo G28. Carta de longitud equivalente de tubería.

	Accesorios y válvulas expresados en pies (m) equivalentes de tubería						
	20 mm (¾ pulg.)	25 mm (1 pulg.)	32 mm (1¼ pulg.)	40 mm (1½ pulg.)	50 mm (2 pulg.)	50 mm (2½ pulg.)	80 mm (3 pulg.)
Codo de 45°	1 (0,3)	1 (0,3)	1 (0,3)	2 (0,6)	2 (0,6)	3 (0,9)	3 (0,9)
Codo estandar de 90°	2 (0,6)	2 (0,6)	3 (0,9)	4 (1,2)	5 (1,5)	6 (1,8)	7 (2,1)
Codo de giro largo de 90°	1 (0,3)	2 (0,6)	2 (0,6)	2 (0,6)	3 (0,9)	4 (1,2)	5 (1,5)
T o Cruz (Flujo alterado 90°)	4 (1,2)	5 (1,5)	6 (1,8)	8 (2,4)	10 (3,1)	12 (3,7)	15 (4,6)
Válvula de compuerta	—	—	—	—	1 (0,3)	1 (0,3)	1 (0,3)
Válvula mariposa	—	—	—	—	6 (1,8)	7 (2,1)	10 (3,1)
Válvula de retención <sup>a</sup>	4 (1,2)	5 (1,5)	7 (2,1)	9 (2,7)	11 (3,4)	14 (4,3)	16 (4,9)

	Accesorios y válvulas expresados en pies (m) equivalentes de tubería						
	90 mm (3½ pulg.)	100 mm (4 pulg.)	125 mm (5 pulg.)	150 mm (6 pulg.)	200 mm (8 pulg.)	250 mm (10 pulg.)	300 mm (12 pulg.)
Codo de 45°	3 (0,9)	4 (1,2)	5 (1,5)	7 (2,1)	9 (2,7)	11 (3,4)	13 (4,0)
Codo estandar de 90°	8 (2,4)	10 (3,1)	12 (3,7)	14 (4,3)	18 (5,5)	22 (6,7)	27 (8,2)
Codo de giro largo de 90°	5 (1,5)	6 (1,8)	8 (2,4)	9 (2,7)	13 (4,0)	16 (4,9)	18 (5,5)
T o Cruz (Flujo alterado 90°)	17 (5,2)	20 (6,1)	25 (7,6)	30 (9,2)	35 (10,7)	50 (15,3)	60 (18,3)
Válvula de compuerta	1 (0,3)	2 (0,6)	2 (0,6)	3 (0,9)	4 (1,2)	5 (1,5)	6 (1,8)
Válvula mariposa	—	12 (3,7)	9 (2,7)	10 (3,1)	12 (3,7)	19 (5,8)	21 (6,4)
Válvula de retención <sup>a</sup>	19 (5,8)	22 (6,7)	27 (8,2)	32 (9,8)	45 (13,7)	55 (16,8)	65 (19,8)

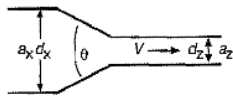
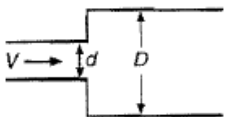
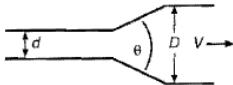
Use con Hazen-Williams C = 120 solamente. Para otros Valores de C, las figuras en está tabla deben ser multiplicadas por los factores de abajo.

Valor de C	80	100	120	130	140	150
Factor multiplicador	0,472	0,713	1,00	1,16	1,32	1,51

Fuente: Moncada y Moncada, 2009.

### Anexo G29. Coeficiente de pérdidas por fricción a partir del cambio de diámetro en la tubería

ENTRADA	FIGURA	COEFICIENTE (K)					
ENTRADA DE BORDE EN FILO						0.5	
TUBERÍA PROYECTADA AL INTERIOR						0.8-1.0	
ENTRADA REDONDEADA		<b>r/d</b>	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
		<b>K</b>	0.20-0.25	0.09-0.17	0.08	0.05	0.04
CONTRACCIÓN SÚBITA		<b>D/d</b>	1.1	1.5	2.0	3.0	10
		<b>K</b>	0.15	0.28-0.30	0.36-0.40	-	0.42

CONTRACCIÓN GRADUAL		0.05	$\beta = \frac{d_z}{d_x}$	$K = \frac{0.8 \sin(\frac{\theta}{2})(1 - \beta x)}{\beta V} \theta \leq 45^\circ$	$K = \frac{0.5(1 - \beta x)\sqrt{\sin(\frac{\theta}{2})}}{\beta V} \theta > 45^\circ$
EXTENSIÓN SÚBITA		<b>d/D</b>	0.1    0.2    0.3    0.4    0.5    0.6    0.7    0.8    0.9	<b>K</b>	0.98    0.92    0.83    0.71    0.56    0.41    0.28    0.13    0.04
EXTENSIÓN GRADUAL		$\beta = \frac{d}{D}$		$K = \frac{2.6 \sin(\frac{\theta}{2})(1 - \beta x)}{\beta V} \theta \leq 45^\circ$	$K = \frac{(1 - \beta x)X}{\beta V} \theta > 45^\circ$

Anexo G29. (Continuación)

## ANEXO H: PROCESO DE DISEÑO Y CÁLCULO, CASOS DE ESTUDIOS Y RESULTADOS

Anexo H30. Tabla 5.2.5.2.2. NFPA 11 Ed. 2016. Tiempos mínimos de descarga y régimen de aplicación para salidas fijas de descarga de espuma con hidrocarburos.

Tipo de hidrocarburo	Tasa mínima de aplicación		Tasa mínima de descarga (minutos)
	L/min · m <sup>2</sup>	gpm/pie <sup>2</sup>	
Punto de inflamación entre 37.8°C y 60°C (100°F y 140°F)	4.1	0.10	30
Puntos de inflamación por debajo de 37.8°C (100°F) o líquidos calentados por encima de sus puntos de inflamación	4.1	0.10	55
Petróleo crudo	4.1	0.10	55

**Fuente:** NFPA 11, 2016.

Anexo H31. Tabla 5.2.5.3.4. NFPA 11 Ed. 2016. Densidad de aplicación y tiempos mínimos de descarga para tanques de techo fijo (cónico), con contenido de combustibles y líquidos inflamables, resistentes al alcohol.

Tasa de aplicación para un producto específico almacenado	Tiempo mínimo de descarga (minutos)
	Salida de descarga de espuma tipo II
Consulte al fabricante para el listado de productos específicos	55

**Fuente:** NFPA 11, 2016.

- ANEXO H1. ROCIADORES AUTOMÁTICOS REQUERIDOS EN OFICINAS ADMINISTRATIVAS PISO 18 TORRE B.
- ANEXO H2. ROCIADORES AUTOMÁTICOS DISPONIBLES EN OFICINAS ADMINISTRATIVAS PISO 18 TORRE B.
- ANEXO H3. ROCIADORES AUTOMÁTICOS REQUERIDOS EN PARQUEADEROS SÓTANO 1 Y SÓTANO 2.
- ANEXO H4. ROCIADORES AUTOMÁTICOS DISPONIBLES EN PARQUEADEROS SÓTANO 1 Y SÓTANO 2.
- ANEXO H5. ROCIADORES AUTOMÁTICOS REQUERIDOS EN ALMACENAMIENTO SÓTANO 1, SÓTANO 2 Y PISO 1.
- ANEXO H6. ROCIADORES AUTOMÁTICOS DISPONIBLES EN ALMACENAMIENTO SÓTANO 1, SÓTANO 2 Y PISO 1.
- ANEXO H7. CONEXIONES DE MANGUERAS REQUERIDOS EN EDIFICACIÓN ADMINISTRATIVA DE CALI.
- ANEXO H8. CONEXIONES DE MANGUERAS DISPONIBLES EN EDIFICACIÓN ADMINISTRATIVA DE CALI.
- ANEXO H9 SISTEMA DE AGUA PULVERIZADA Y ESPUMA DE BAJA EXPANSIÓN REQUERIDO EN TERMINAL INDUSTRIAL DE CARTAGENA.
- ANEXO H10. SISTEMA DE AGUA PULVERIZADA Y ESPUMA DE BAJA EXPANSIÓN DISPONIBLE EN TERMINAL DE CARTAGENA

Los anexos H1 a H10, serán presentados a continuación y el nombre se asigna respectivamente en el orden de secuencia.