

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**PRINCIPIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE
ROCIADORES PARA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

CARLOS IVÁN QUINTANAR TENORIO

MÉXICO, D.F. DICIEMBRE 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesora: Lucila Cecilia Méndez Chávez

VOCAL: Profesor: Ramón E. Domínguez Betancourt

SECRETARIO: Profesora: Blanca Estela García Rojas

1er. SUPLENTE: Profesor: Juan Mario Morales Cabrera

2° SUPLENTE: Profesor: Mauricio Márquez Lucero

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

International Fire Safety Consulting de México S. A. de C. V.

ASESOR DEL TEMA:

Ramón E. Domínguez Betancourt

SUSTENTANTE:

Carlos Iván Quintanar Tenorio

A mis padres,
Martha y Carlos, con todo mi cariño por su siempre sabio y atinado consejo, incondicional apoyo, ser mi inspiración emocional y en especial, por todo el amor que me brindan día con día. Gracias, los amo.

A mi futura esposa,
Nohemí, gran compañera, amiga y confidente; por ser tú quien eres, exigirme, respetarme y amarme, estar a mi lado en todo momento y por el gran futuro que nos aguarda. Te amo.

En especial a mi padre,
Ing. Carlos Quintanar González, por ser siempre mi amigo, mi rector, mi guía, un ejemplo a seguir y mi inspiración profesional. Gracias.

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a:

Mi tía Chatita, por todo tu apoyo, esfuerzo, trabajo, paciencia, respeto y cariño brindado durante toda mi carrera. Infinitamente gracias.

Ing. Ramón Domínguez Betancourt, por su apoyo y dirección para la elaboración de esta tesis, así como por transmitirme gran parte de su experiencia profesional.

INDICE

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. LEGISLACIÓN MEXICANA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	7
3.1. NOM-002-STPS-2000 CONDICIONES DE SEGURIDAD, PREVENCIÓN, PROTECCIÓN Y COMBATE DE INCENDIOS.....	14
3.2. LA LEGISLACIÓN EN MÉXICO	18
4. REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL DISTRITO FEDERAL	21
4.1. NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO.....	23
4.1.1. GRADO DE RIESGO DE INCENDIO	24
4.1.2. RESISTENCIA AL FUEGO	25
4.1.3. CONFINACIÓN DEL FUEGO Y ÁREAS DE RESGUARDO	27
4.1.4. DISPOSITIVOS PARA PREVENIR Y COMBATIR INCENDIOS	28
5. QUÍMICA DEL FUEGO	36
5.1. EL PROCESO DE COMBUSTIÓN Y LA TRANSFERENCIA DE CALOR	41
5.2. LA EXTINCIÓN DEL FUEGO	44
5.2.1. EXTINCIÓN CON AGUA.....	45
5.2.2. EXTINCIÓN CON ESPUMA.....	47
5.2.3. EXTINCIÓN CON GASES INERTES	49
5.2.4. EXTINCIÓN CON AGENTES HALOGENADOS	50
5.2.5. EXTINCIÓN CON AGENTES QUÍMICOS SECOS	52
6. LEGISLACIÓN INTERNACIONAL EN PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	54
6.1. LAS ORGANIZACIONES DE NORMALIZACIÓN EN EL MUNDO	55
6.2. LA NFPA Y LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	59
7. NFPA 13 – INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE ROCIADORES	64
7.1. TIPOS DE SISTEMAS DE ROCIADORES	68
7.2. LA CLASIFICACIÓN DE RIESGOS EN OCUPACIONES Y ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍAS	72
7.3. COMPONENTES DEL SISTEMA	78
7.3.1. ROCIADORES	80

7.3.2. TUBERÍA.....	84
7.3.3. VÁLVULAS.....	86
7.3.4. OTROS ACCESORIOS.....	89
7.4. TIPOS Y MÉTODOS DE ALMACENAMIENTO	92
7.4.1. ALMACENAMIENTO A GRANEL.....	93
7.4.2. PILAS DE ALMACENAMIENTO.....	94
7.4.3. ALMACENAMIENTO EN TARIMAS.....	95
7.4.4. ALMACENAMIENTO EN RACKS	96
<u>8. PRINCIPIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ROCIADORES</u>	<u>98</u>
8.1. HIDRÁULICA BÁSICA.....	98
8.1.1. PRINCIPIOS DE CONSERVACIÓN.....	99
8.1.2. PÉRDIDAS POR FRICCIÓN	101
8.1.3. DESCARGA DE AGUA.....	105
8.2. METODOLOGÍA DE DISEÑO	107
8.2.1. BASE DE DISEÑO.....	108
8.2.2. DISEÑO CONCEPTUAL	115
8.2.3. CÁLCULOS HIDRÁULICOS	122
8.2.4. CÁLCULOS DEL SUMINISTRO.....	142
<u>9. CONCLUSIONES</u>	<u>146</u>
<u>10. BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>149</u>
<u>11. ANEXOS</u>	<u>152</u>
<u>ANEXO A. FLUJO DE AGUA EN TUBERÍAS DE ACERO</u>	<u>152</u>

1. RESUMEN

Los sistemas de rociadores automáticos son dispositivos de alta confiabilidad en la prevención y combate de incendios que son utilizados ampliamente en países como Estados Unidos como sistemas de Protección contra Incendios desde hace ya más de 125 años, comprobando así su gran efectividad en la extinción del fuego, en la reducción de pérdidas materiales y ayudando a salvar vidas humanas. Su aplicación más común hasta el momento ha sido en la industria, edificaciones corporativas, estructuras comerciales y edificios públicos, donde su instalación ha sido de gran ayuda.

En México, la legislación en materia de Seguridad Industrial se encuentra apenas en desarrollo además de estar mal aplicada en algunos casos. En adición a esto, aún no existe legislación alguna que regule el uso y la instalación de sistemas de rociadores. Por otra parte, tampoco existe aún institución de educación pública, privada o autónoma que se dedique a la formación de profesionales de Ingeniería contra Incendios, estimulando que este tipo de conocimientos sólo puedan alcanzarse como especializaciones que son impartidas por asociaciones u organismos, que debido a su grado tan alto de especialización, ofrecen este tipo de capacitación a precios poco accesibles. Actualmente existen pocas empresas que realmente se dedican a diseñar sistemas de rociadores automáticos que sean efectivos, la mayor parte de ellas solo se dedican a comercializar o instalar los rociadores y no ponen interés en la importancia que debe tener el diseño. Usualmente sólo pretenden cumplir con las normas mexicanas para evitarse problemas con Protección Civil. Sin embargo las compañías aseguradoras ya obligan a los empresarios a buscar una solución más efectiva para proteger sus instalaciones al incrementar de manera considerable el costo de las primas de aseguramiento, o exigen mayor nivel de seguridad y cumplimiento con normas internacionales para disminuir dichos costos.

En el presente trabajo de investigación se pretende revisar y analizar la legislación mexicana e internacional en materia de sistemas de rociadores automáticos para brindar un panorama general de su situación actual. Además, se establecerán los aspectos básicos de la norma NFPA 13, Ed. 2007, para el diseño de rociadores automáticos, que sirvan como apoyo al estudiante de Ingeniería en el análisis de este tipo de sistemas, al especializarse en Ingeniería Contra Incendios.

2. INTRODUCCIÓN

La filosofía de los expertos en la prevención y el combate de incendios en todo el mundo debe seguir el cumplimiento de dos objetivos principales al realizar su labor: la salvaguarda de vidas humanas y la prevención de las pérdidas de los bienes materiales. La elaboración de normatividades en el área contra incendios, el desarrollo de tecnología para el combate de incendios y la formación de los profesionales dedicados a la Ingeniería contra Incendios son aspectos que también deberían considerar estos dos principios como parte de su filosofía.

Los sistemas de rociadores contra incendios son instalados en edificios con ocupaciones diversas debido a que son dispositivos altamente efectivos en el control y la extinción de incendios en las etapas tempranas de desarrollo del fuego. Lo anterior permite que los rociadores sean considerados como una tecnología para salvar vidas humanas y que si no previene las pérdidas totales de los bienes inmuebles, al menos las reducen dramáticamente.

Un sistema de rociadores consiste en una red de tuberías que contienen agua bajo presión en su interior y con dispositivos individuales aspersores de agua (rociadores) ubicados estratégicamente a lo largo de la tubería con el fin de proteger un área determinada. Los aspersores o rociadores se encuentran obstruyendo el paso del agua hasta el momento en que se presenta un incendio en el área protegida, se incrementa la temperatura del ambiente hasta romper el elemento fusible o bulbo del rociador permitiendo de esta manera descargar el agua sobre el área incendiada y extinguir el fuego.

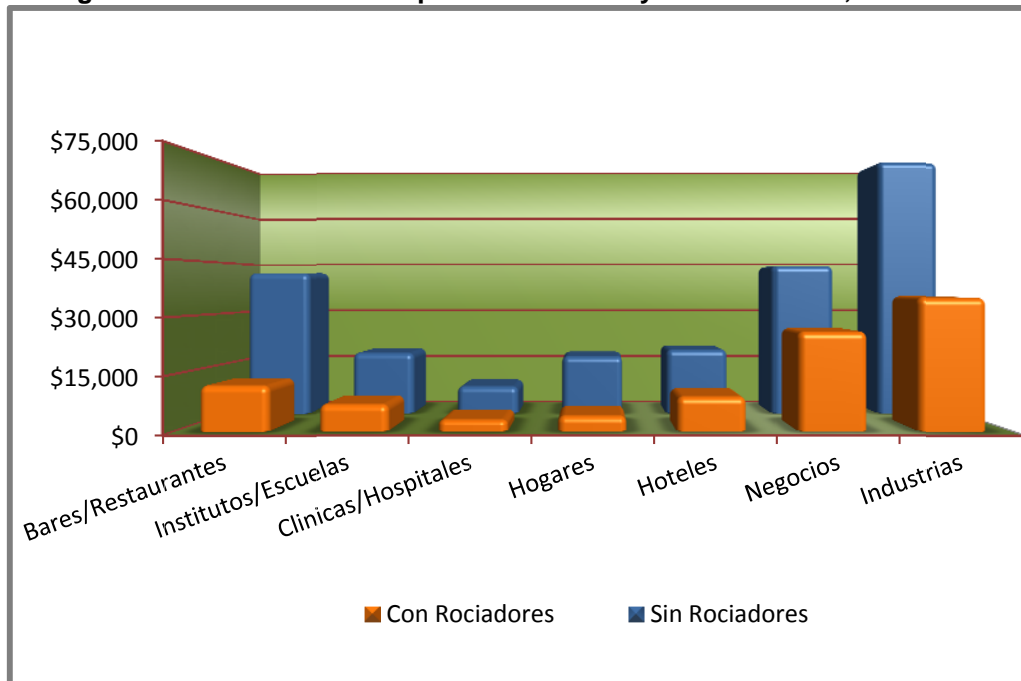
Algunos datos estadísticos sobre la problemática de los incendios en los Estados Unidos de América para formarse una idea de la magnitud del problema que representan los incendios son los siguientes¹:

- 1) 1, 331, 500 incendios fueron atendidos por los departamentos de bomberos durante el 2010, hubo una pequeña disminución del 1.3% con respecto del año anterior.
- 2) 482, 000 incendios ocurrieron en edificaciones, hubo un pequeño aumento del 0.3%.
- 3) 384, 000 incendios u 80% de los incendios estructurales ocurrieron en hogares.

- 4) 215,500 incendios ocurrieron en vehículos, una disminución del 1.6% con respecto del año anterior.
- 5) 634,000 incendios ocurrieron en propiedades exteriores, una disminución del 2.3%.

En resumen, lo anterior significa que en E. U. A., los departamentos de bomberos atienden una emergencia por incendio cada 24 segundos, un incendio estructural ocurre cada 65 segundos y, particularmente un incendio residencial ocurre cada 82 segundos. Cuando se utilizan rociadores automáticos para protección de cualquier ocupación, se logra reducir el costo de los daños causados por un incendio, desde 45% hasta 70% tal como se muestra en la Figura 2.1.

Figura 2.1. Costo en dólares por incendio con y sin rociadores, 2003-2007



Fuente: U.S. Experience with Sprinklers, Fact Sheet, NFPA, febrero de 2010

En países de primer mundo como los Estados Unidos de América, Canadá y el Reino Unido por mencionar algunos ejemplos, utilizan los rociadores en todos los proyectos nuevos de construcción e implementan estos dispositivos en edificaciones antiguas que no cuentan con ellos. Las normativas que rigen en dichos países consideran el uso de los rociadores de manera obligatoria para asegurarse de disminuir las catástrofes y las pérdidas humanas por incendios.

En contraste con lo anterior, se encuentran los países de casi toda América Latina y entre ellos se encuentra México. En estos países muchas veces la situación legislativa no es la más adecuada ya que obedece en muchas de las ocasiones a los intereses muy particulares de algunos sectores políticos y económicos que existen en el país. Por ejemplo, en México existe la NOM-002-STPS-2000, "*Condiciones de seguridad, prevención, protección y combate de incendios*", cuyos principales requerimientos obligan a los patrones o dueños a instalar extintores contra incendios por doquier sin importar si los ocupantes del edificio los saben operar o no. Lo anterior obviamente resulta positivo para cualquier fabricante de extintores que se encuentre en México.

Otra problemática que puede observarse en los países del tercer mundo es que no existen instituciones que se dediquen a la formación de profesionales o especialistas en el área de seguridad contra incendios. Esto provoca que los conocimientos y grados de especialización en la materia sólo se encuentren accesibles para un sector muy pequeño de la población del país, y por lo tanto el desarrollo de las normas o legislaciones en el tema, se encuentren a cargo de personas que no son capaces e inclusive no tienen el suficiente criterio para hacerlo.

El desarrollo de la tecnología de los rociadores a nivel mundial ha tenido un gran impulso al menos en los países primermundistas. Las investigaciones de hoy en día incluso tienden a centrarse más en lograr obtener modelos matemáticos que ayuden a describir el funcionamiento de los rociadores y la interacción del fuego al ser extinguido por los mismos. Estos modelos permiten que el trabajo de diseño de sistemas de rociadores cada vez sea más sencillo. Antes de 1929 por ejemplo, los diseños de sistemas de rociadores se realizaban por medio de tablas que limitaban el número máximo de rociadores que podían ser alimentados por cada tamaño de tubería. Hoy en día, se utilizan programas de computadora que le permiten al diseñador hasta optimizar sus diseños.

Por otro lado, el uso de los sistemas de rociadores también se ha extendido cada vez más a la protección de edificios que antes ni siquiera vislumbraban. Antes sólo se utilizaban para proteger naves industriales, almacenes y bodegas. Hoy en día se utilizan en hoteles, edificios de oficinas, edificios de departamentos, edificios públicos, hospitales, e inclusive, al menos en E. U. A. ya existe una iniciativa donde se establece el uso de esos dispositivos

para proteger hogares uni y bi familiares, es decir, casas y edificios departamentales de no más de dos departamentos en total. Muchas veces las personas desconocen que la misma tecnología que se utiliza para proteger edificios e instalaciones públicas o privadas de grandes dimensiones, también se encuentra disponible para proteger los hogares o edificios destinados al uso de vivienda². De igual manera desconocen que el costo de instalación de este tipo de sistemas es realmente barato comparándolo con el costo de las pérdidas totales de una casa en caso de presentarse un incendio.

Los métodos y los materiales de construcción de los hogares que se utilizan en los países de primer mundo, son muy diferentes a los que se utilizan en otros países. Por ejemplo, en E. U. A. se utiliza principalmente la madera y la tablaroca, mientras que en México se utiliza el concreto y los ladrillos como el método más común para construir una casa. Esto implica que entonces las muertes por incendios en los E. U. A. sean mucho mayores que en México. De ahí que las autoridades mexicanas entonces tratan de escudarse en esta situación y mencionan que por eso no es necesario obligar el uso de rociadores en este país. La mala noticia es que se les olvida que muchos de los acabados y los mobiliarios que se utilizan para adornar los hogares no son otra cosa que materiales combustibles. Tal es el caso de las alfombras, los tapices, las duelas, los sillones, las camas, etc. La misma situación aplica muchas veces para otros tipos de edificios y no sólo para los hogares.

A continuación se presentan algunas estadísticas sobre la situación de los rociadores en E. U. A. según la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA)³:

- 1)** La razón de muertes por cada incendio que ocurre en hogares protegidos por rociadores, baja drásticamente hasta en un 80%.
- 2)** Los daños a bienes materiales registrados por cada incendio que ocurre, disminuye desde un 45 hasta un 70%.
- 3)** El daño causado por el incendio, fue confinado a la habitación donde se originó en el 94% de los incendios ocurridos en propiedades protegidas por rociadores contra el 74% de los incendios en propiedades sin protección alguna.
- 4)** Los rociadores funcionaron en el 95% de los incendios estructurales reportados de propiedades protegidas con éstos mismos.

La legislación en materia de seguridad contra incendios en países latinoamericanos se encuentra entonces en una situación de desventaja frente a las normas internacionales que se desarrollan en países del primer mundo. Sin embargo, al menos en México, está permitido utilizar normatividad internacional cuando alguna autoridad con jurisdicción así lo señale.

La Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA) es un organismo de talla internacional que desarrolla investigaciones sobre incendios y elabora normas aplicables en casi todo el mundo. La norma NFPA 13, *Norma para la instalación de Sistemas de Rociadores* es una norma muy importante que conviene revisar cuando se desea instalar un sistema de protección contra incendios efectivo en alguna edificación.

El presente trabajo de investigación presenta un pequeño estudio y análisis de la situación legislativa en materia de protección contra incendios de México frente a países del primer mundo como Estados Unidos de América, Japón, el Reino Unido, etc. También se menciona y se presenta la legislación mexicana más importante en materia de seguridad contra incendios y además se hace una revisión a la norma NFPA 13, *Norma para la instalación de Sistemas de Rociadores*, para presentar y dar a conocer los principios básicos necesarios para diseñar e instalar los sistemas de rociadores.

3. LEGISLACIÓN MEXICANA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

En la actualidad, existen principalmente dos razones de gran importancia por las cuales el tema de Legislación en Protección Contra Incendio debe de ser de gran interés para cualquier profesional de la industria. La primera y más importante es salvar vidas humanas. La otra es salvar bienes materiales para tratar de minimizar los costos por pérdidas en caso de incendio. Esto se logra ya sea previniendo con medidas de seguridad adecuadas o tomando acción inmediata en caso de siniestro en cualquiera de los dos casos mencionados con anterioridad.

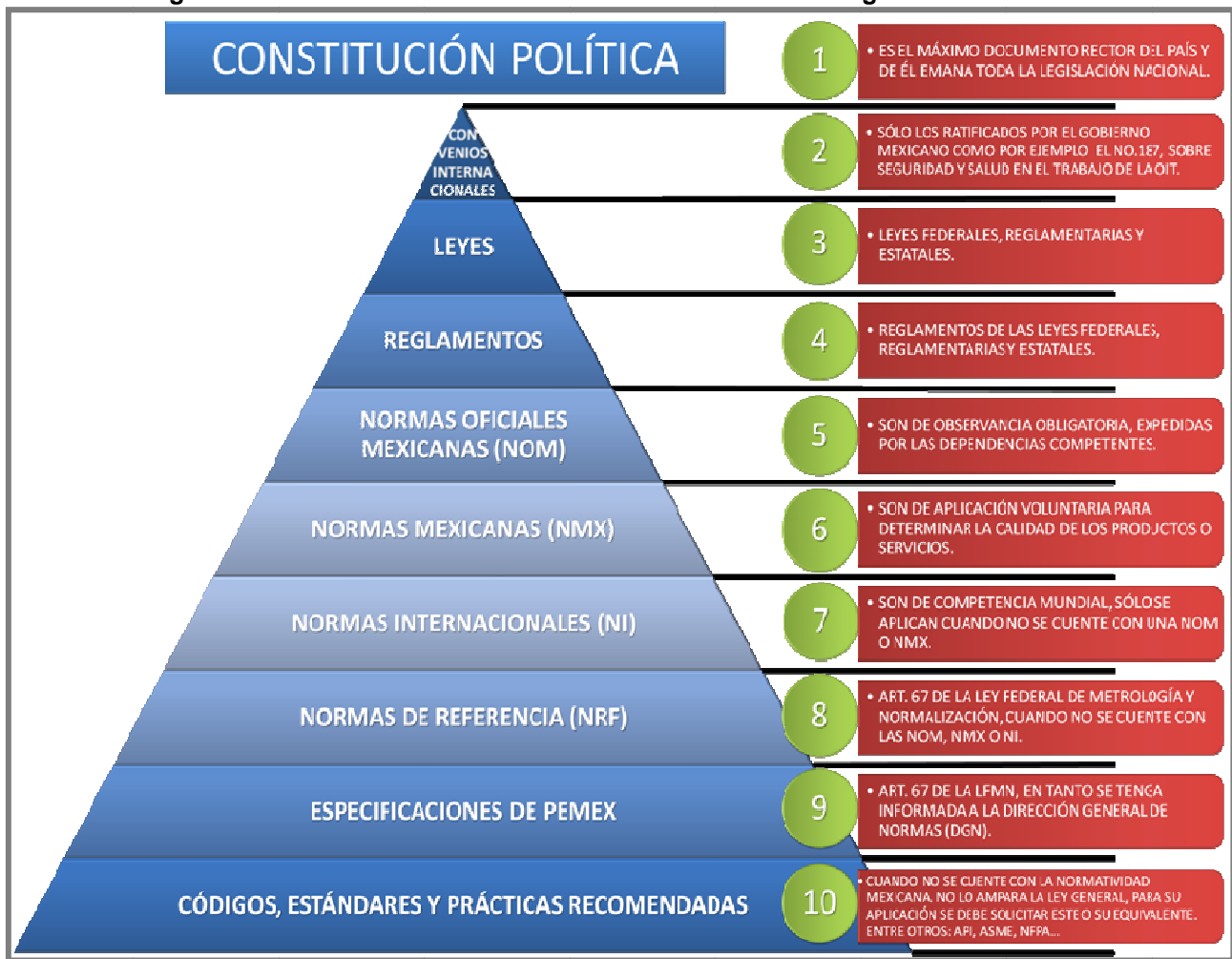
Debido a las necesidades que los mexicanos han tenido a lo largo del tiempo en materia de organización y administración política así como de plasmar sus derechos y obligaciones como ciudadanos, en México se desarrolló un sistema de legislación propio. El esquema de la legislación mexicana, de manera general, comienza con la **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**, considerada como la ley máxima y que desde el 5 de febrero de 1917 rige en toda la República Mexicana. En dicho documento se consolida a México como una República Federal Representativa y Democrática, además de establecerse la organización del gobierno y encontrarse plasmados los deseos del pueblo mexicano de reconocerse como individuos con derechos y obligaciones que les permitan convivir dentro del territorio nacional de manera armoniosa⁴.

Para explicar la forma en cómo se encuentra jerarquizada la legislación nacional, se tomará como base la Pirámide Jurídica de Kelsen, modificando el esquema original y adecuándolo a la situación de estudio de la presente investigación. La figura 3.1 muestra gráficamente lo que a continuación se describe.

De acuerdo con dicho esquema, la Constitución se encuentra en la cima de una pirámide, ya que se le considera como el máximo documento rector. El siguiente escalón descendente en la pirámide lo constituyen todos los **Convenios Internacionales** bajo los cuales el país se encuentre ante el mundo y los cuales son ratificados por el gobierno mexicano antes de firmarse y entrar en vigor. El *Convenio No. 187 sobre seguridad y salud en el trabajo* de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) es un buen ejemplo de este tipo de convenios.

A este escalón le siguen de forma descendente todas las **Leyes Federales, Reglamentarias y Estatales** que vayan surgiendo de acuerdo a las necesidades del pueblo y que además se derivan de la Constitución tales como la *Ley Federal del Trabajo* y la *Ley Federal de Metrología y Normalización*. Posteriormente siguen los **Reglamentos** que en ocasiones se derivan de las leyes o que surgen como complemento a las mismas. El *Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo* es ejemplo de éstos.

Figura 3.1. Adecuación de Pirámide de Kelsen al sistema legislativo mexicano



Fuente: Apuntes de la materia de Ingeniería de Proyectos, 2007

Particularmente, en los distintos ramos de la Ingeniería se considera que luego de los reglamentos deben cumplirse las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las Normas Mexicanas (NMX), las Normas Internacionales (NI), las Normas de Referencia (NRF) y las Especificaciones de PEMEX.

Las **Normas Oficiales Mexicanas** son consideradas de observancia obligatoria dentro del campo de aplicación que cada una especifique además de ser expedidas por las dependencias competentes. La NOM-002-STPS-2000, *Condiciones de seguridad, prevención, protección y combate de incendios*, es ejemplo claro de Norma Oficial Mexicana.

Las **Normas Mexicanas** son normas de aplicación voluntaria, sin embargo son muy útiles en la determinación de la calidad de los productos o servicios que una empresa o ramo industrial determinado ofrecen. La NMX-X-014-1981 *Recipientes sujetos a presión - Hermeticidad – Método de prueba*, es un ejemplo de Norma Mexicana.

Las **Normas Internacionales** son criterios establecidos en acuerdo con líderes o representantes de diferentes países que se pueden utilizar y aplicar en lugar de las Normas Oficiales Mexicanas cuando no exista ninguna aplicable para algún caso en específico. Ejemplos de este tipo de normas son las que se desarrollan en la Organización Internacional de Normas (ISO).

Las **Normas de Referencia y Especificaciones** de PEMEX sólo son un ejemplo de regulaciones propias de una empresa que fueron creadas para mantener estándares de requerimientos a empresas contratistas que trabajen dentro de sus instalaciones.

En el último escalón se encuentran todos aquellos **estándares, códigos y prácticas recomendadas** las cuales pueden utilizarse o aplicarse sólo cuando sea especificado en alguna otra ley o norma de mayor importancia (como las NOM's, NMX's, ISO, etc). Algunos ejemplos de éstos son los códigos y estándares de API, ASME, ASTM y NFPA.

Otra razón de gran valor por la que la legislación sobre protección contra incendios deba de aplicarse adecuadamente es que hoy en día las compañías aseguradoras son bastante estrictas al momento de realizar un contrato de servicios. Si algún aspecto de seguridad no se encuentra cubierto en la empresa que se asegura, la compañía aseguradora evita realizar el contrato o simplemente eleva los costos de la prima. En caso de que el contrato ya exista, buscan cualquier situación desfavorable para el cliente en la que se eviten pagar el seguro

en caso de siniestro, lo que se traduce en una pérdida económica bastante grande para cualquier empresario.

De acuerdo con algunos datos estadísticos de la *Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA)*, del total de negocios o empresas que sufren algún incendio sólo el 70% logra reponerse para volver a una completa operación, sin embargo de este porcentaje la mitad suele cerrar sus puertas en el primer año en que volvieron al mercado debido a los altos costos de recuperación que deben pagarse.

La inquietud del pueblo mexicano respecto a cómo, cuando, quién tiene la obligación de ofrecer y quien debe regular las condiciones de seguridad y protección contra incendios se encuentra plasmada en diferentes niveles de la legislación nacional de acuerdo con el esquema legislativo presentado anteriormente. A continuación se presenta un resumen de aquella legislación mexicana que se encuentra relacionada con la Protección Contra Incendios.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos dice en su artículo 123 fracción XIV, apartado A que: *“Los empresarios serán responsables de los accidentes de trabajo y de las enfermedades profesionales de los trabajadores, sufridas con motivo o en ejercicio de la profesión o trabajo que ejecuten; por lo tanto, los patrones deberán pagar la indemnización correspondiente..., de acuerdo con lo que las leyes determinen. Esta responsabilidad subsistirá aun en el caso de que el patrono contrate el trabajo por un intermediario”*.

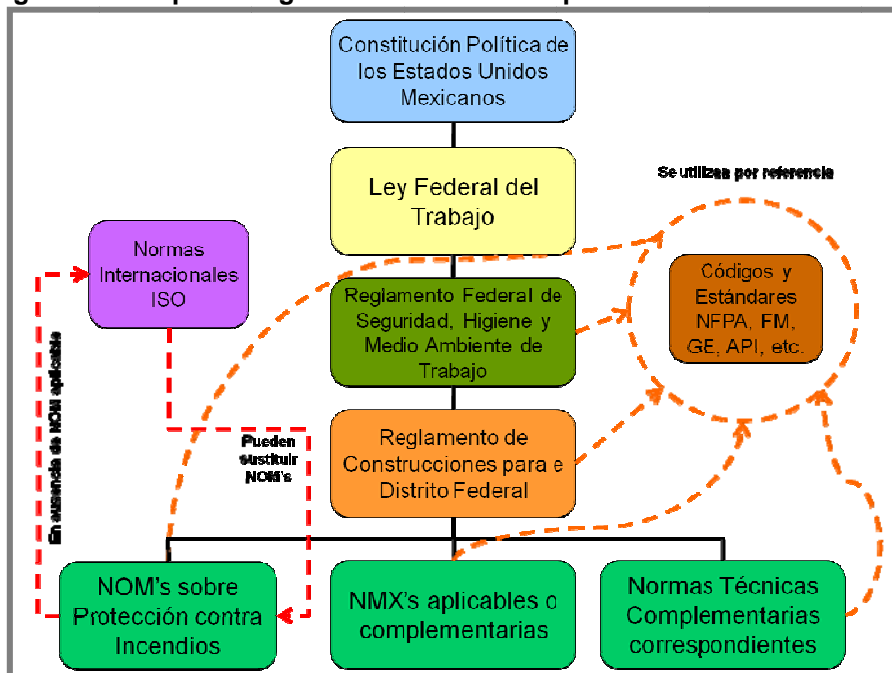
Siguiendo en el mismo artículo, se encuentra establecido en la fracción XV del mismo apartado que: *“El patrón está obligado a observar, de acuerdo con la naturaleza de su negociación, los preceptos legales sobre higiene y seguridad en las instalaciones de su establecimiento, y a adoptar las medidas adecuadas para prevenir accidentes...”*. Es posible darse cuenta al leer las líneas anteriores que inclusive desde la Constitución, la ley máxima, se encuentra plasmado el interés por mantener los ambientes de trabajo seguros para prevenir accidentes y/o siniestros, estableciendo las obligaciones que deben seguirse en esta materia.

Por esta razón, es de importancia considerable para los profesionistas el apoyarse en las leyes que existan en materia de seguridad e higiene para ejercer de una manera adecuada su trabajo.

Hablando particularmente en el caso de la legislación mexicana, La *Ley Federal del Trabajo*, es la regulación que sigue hacia abajo en la pirámide hablando de regulaciones en materia de Protección contra Incendios. En ella se menciona en su artículo 1º, la derivación que ésta posee en el artículo 123 apartado A de la Constitución. Además se encuentra establecido lo siguiente, en su artículo 132 fracción XVII del Título Cuarto Capítulo I: *“Son obligaciones del patrón..., cumplir las disposiciones de seguridad e higiene que fijen las leyes y los reglamentos para prevenir los accidentes y enfermedades en los centros de trabajo y, en general, en los lugares en que deban ejecutarse las labores...”*⁵.

Además, en el **artículo 512 del título noveno (Riesgos de Trabajo)** de la misma ley, se establece que los lineamientos o especificaciones que deben seguirse para asegurar la vida y salud de los trabajadores, se encuentran en instructivos que la autoridad laboral, es decir la *Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS)*, expida para ello. Algunos de estos instructivos se mencionan más adelante.

Figura 3.2. Esquema legislativo mexicano de protección contra incendios



El documento que sigue es el *Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo*, el cuál como su nombre lo indica, centra su interés en las condiciones, lineamientos y otras especificaciones mínimas de seguridad e higiene laboral dentro de las empresas, y establece solo algunos requerimientos generales sobre las medidas de seguridad contra incendio.

El reglamento establece que *“tiene por objeto establecer las medidas necesarias de prevención de los accidentes y enfermedades de trabajo, tendientes a lograr que la prestación del trabajo se desarrolle en condiciones de seguridad, higiene y medio ambiente adecuados para los trabajadores, conforme a lo dispuesto en la Ley Federal del Trabajo”*⁶, tal y como está escrito en su **artículo 1º**.

Ahora bien, en dicho reglamento existe un apartado específico para la prevención, protección y combate de incendios donde se establecen las obligaciones del patrón en materia de seguridad, de diseño, construcción y control del centro de trabajo, las medidas de prevención y protección, y los sistemas y equipos contra incendio que deben de instalarse. Lo anterior se especifica de manera técnica en las normas aplicables de acuerdo con el tipo y grado de riesgo que presenten las actividades que se realicen dentro del inmueble.

También en el **artículo 28** del Reglamento se menciona que para prevenir, proteger y combatir incendios, los patronos están obligados a las siguientes acciones:

- 1) Elaborar un estudio para determinar el grado de riesgo de incendio o explosión, así como las medidas preventivas y de combate pertinentes.
- 2) Elaborar el programa y los procedimientos de seguridad para el uso, manejo, transporte y almacenamiento de los materiales con riesgo de incendio.
- 3) Contar con sistemas de detección y extinción de incendios, de acuerdo al tipo y grado de riesgo de incendio conforme a las Normas aplicables.
- 4) Contar con señalización visual y audible, de acuerdo con el estudio del grado de riesgo de incendio para dar a conocer acciones y condiciones de prevención, protección y casos de emergencia.

- 5) Organizar brigadas contra incendios en función al tipo y grado de riesgo del centro de trabajo para prevenirlos y combatirlos.
- 6) Practicar cuando menos una vez al año simulacros de incendio en el centro de trabajo.

Enseguida de este documento, existe el *Reglamento de Construcciones del Distrito Federal*, documento a nivel estatal que regula los proyectos y las actividades de construcción que se lleven a cabo sólo en la Ciudad de México. Debido a la amplitud de sus alcances, al alto nivel técnico que ofrece y a su gran versatilidad, es adoptado en otros estados de la República Mexicana o fue tomado como base para la expedición de documentos similares en otros Estados. Posteriormente se analizará más a fondo este reglamento debido a que contiene un apartado muy importante en materia de seguridad contra incendio.

Estos reglamentos, al igual que la Ley Federal del Trabajo, se encuentran apoyados por las Normas Oficiales Mexicanas que la Secretaría del Trabajo ha expedido hasta el momento, todas con el objetivo de mantener seguridad en los centros de trabajo. Las Normas Oficiales Mexicanas en materia de protección contra incendio que existen actualmente se enlistan a continuación:

- 1) NOM-002-STPS, *“Condiciones de seguridad – Prevención, protección y combate de incendios en los centros de trabajo”*
- 2) NOM-005-STPS, *“Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas”*
- 3) NOM-026-STPS, *“Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías”*
- 4) NOM-100-STPS, *“Seguridad - Extintores contra incendio a base de polvo químico seco con presión contenida - Especificaciones”*
- 5) NOM-101-STPS, *“Seguridad - Extintores a base de espuma química”*
- 6) NOM-102-STPS, *“Seguridad - Extintores contra incendio a base de bióxido de carbono- Parte 1: recipientes”*
- 7) NOM-103-STPS, *“Seguridad - Extintores contra incendio a base de agua con presión contenida”*

- 8) NOM-104-STPS, “Seguridad- Extintores contra incendio a base de polvo químico seco tipo ABC, a base de fosfato mono amónico”
- 9) NOM-106-STPS, “Seguridad - Agentes extinguidores - Polvo químico seco tipo BC, a base de bicarbonato de sodio”

Todas estas leyes, reglamentos y Normas Oficiales cuentan a su vez con Normas Mexicanas y normas complementarias que apoyan a su correcta aplicación especificando a nivel técnico especializado algunas de las condiciones o parámetros que solicitan cumplir. Por otro lado, existen Normas Internacionales que pueden ser utilizadas en lugar de las NOM´s en caso de que exista la ausencia de éstas para algún tipo de requerimiento específico. También se pueden utilizar códigos y estándares cuando alguna normatividad mexicana haga mención de éstos, ya que al incluirlos como normas de referencia se convierten en parte de las normas de cumplimiento obligatorio.

3.1. NOM-002-STPS-2000 CONDICIONES DE SEGURIDAD, PREVENCIÓN, PROTECCIÓN Y COMBATE DE INCENDIOS.

La NOM-002-STPS-2000 tiene como *objetivo* establecer las condiciones mínimas de seguridad que deben de aplicarse para la protección de los trabajadores y la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo de todo el territorio nacional⁷.

Esta Norma se encuentra constituida de 4 capítulos introductorios en donde se establecen *el objetivo, campo de aplicación, referencias y definiciones* necesarias para la buena comprensión de la misma. Posteriormente se encuentran 2 capítulos muy importantes donde son establecidas las *obligaciones del patrón y de los trabajadores* que deben de cumplirse de manera obligatoria.

En los 2 capítulos subsecuentes se establecen los contenidos que deben de cumplir los documentos que la Norma pide elaborar y que son de gran importancia: *el Programa Específico de Seguridad y la Relación de Medidas Preventivas para la prevención, protección y combate de incendios.*

Posteriormente, dicha norma cuenta con 3 capítulos dedicados a especificar los *requisitos de seguridad* que deben de tener los edificios del centro de trabajo, para la brigada contra incendios además de la inspección y mantenimiento de los extintores. Por último aparecen 4 capítulos que tratan sobre las *Unidades de Verificación, la Vigilancia* de la norma, la *Bibliografía* y la concordancia que puede o no tener con otras normas internacionales.

Adicionalmente la Norma cuenta con un apéndice donde se expone la manera de elaborar un *Estudio de Grado de Riesgo* de un centro de trabajo además de 5 apartados especiales llamados *guías de referencia*, donde se establecen a manera de *sugerencia*, las especificaciones de los detectores de humo, sistemas fijos contra incendio, brigadas de emergencia, extintores contra incendio y los agentes extinguidores que pueden ser utilizados en el centro de trabajo para cumplimiento de la Norma.

Ingresando al tema sobre las obligaciones del patrón y de los trabajadores, para conocer los alcances y responsabilidades que tienen ambos dentro de una empresa y darse cuenta hasta donde llega la participación de cada uno de ellos en el cumplimiento de la norma, así como, para ayudar en la derogación de responsabilidades sin olvidar que el objetivo principal es el de salvar vidas, es necesario revisar la sección de la Norma que habla al respecto.

Dentro de las obligaciones que el patrón y el trabajador tienen de acuerdo con lo que dicta la Norma, se encuentran las siguientes:

Tabla 3.1.1 Obligaciones por cumplir

PATRÓN	TRABAJADORES
Mostrar documentos de obligación	Cumplir con lo establecido por patrón
Informar de los riesgos de incendio	Estar enterados de los riesgos
Determinar grado de riesgo incendio	Auxiliar y apoyar en emergencias
Establecer un Programa Específico de Seguridad	Avisar al patrón de una emergencia
Realizar simulacros (1 vez/año)	Participar en los simulacros
Proporcionar capacitación trabajador	Participar en actividades capacitación
Organizar y capacitar brigadas	Participar en las brigadas
Proporcionar equipo de protección	Seguir instrucciones de uso y mantenimiento
Contar con detectores de incendio	
Instalar equipos contra incendio	
Verificar el equipo contra incendio	

Lo primero que un patrón debe de realizar para facilitarse la aplicación de esta norma es realizar un Estudio de Riesgo de sus instalaciones así como de las actividades que se realizan dentro de la empresa. El objetivo de este estudio es el de determinar de una manera efectiva, el Grado de Riesgo de Incendio que existe en el centro de trabajo de manera global, así como en cada una de sus áreas, locales o edificios.

La determinación del grado de riesgo considera aspectos de la empresa tales como: características y dimensiones de la(s) edificación(es); la cantidad, características y tipo de materiales que se manejan dentro de las instalaciones; la cantidad de trabajadores y características de las actividades que desempeñan. De acuerdo a esta información se elabora una tabla, como la presentada en la Norma, para identificar el grado de riesgo.

Ahora bien, el *Programa Específico de Seguridad (PES)* así como la *Relación de Medidas Preventivas (RMP)*, son dos documentos que la Norma exige al patrón elaborar de acuerdo con el Estudio de Riesgo y según el grado de riesgo resultante. Por ejemplo, la norma establece que en aquella empresa que exista grado de riesgo alto, el patrón debe de contar con el PES, y por otro lado, en aquella donde exista grado de riesgo bajo, el patrón solo está obligado a contar con la RMP.

El contenido de los documentos está establecido en la Norma y es diferente uno de otro siendo el programa específico de seguridad el documento más completo de los dos. Sin embargo, el objetivo de ambos documentos es muy similar ya que buscan establecer por escrito los procedimientos a detalle que deben seguirse antes, durante y después de un incendio, además de contar con un inventario y un control del mantenimiento de los equipos contra incendio.

Luego de conocer el grado de riesgo de incendio de sus instalaciones, el patrón debe poner atención cuidadosa en el apartado de los requisitos de seguridad que se indican en la Norma, ya que en él se especifican los requisitos que el patrón debe de cumplir al diseñar o acondicionar (según sea el caso) el edificio o centro de trabajo donde se realizan todas y

cada una de las actividades laborales. Nuevamente, algunos de los requisitos que presenta la Norma consideran el grado de riesgo de incendio para poder aplicarlos.

Entre los requisitos que se mencionan están todas las especificaciones de las condiciones en las que deben de conservarse: las salidas normales, las rutas y salidas de emergencia, las instalaciones de los equipos contra incendio (extintores, gabinetes) además de su mantenimiento periódico así como también el diseño, construcción o acondicionamiento de las áreas, locales y edificios, con que cuente el centro de trabajo de acuerdo al grado de riesgo de incendio que presenten. También se mencionan los requisitos de formación, control y manejo de las brigadas de protección contra incendio y las funciones que están obligadas a cumplir dichas brigadas para con la empresa y los trabajadores.

En resumen, el cumplimiento de esta Norma gira en torno a la determinación del grado de riesgo de incendio del inmueble que se realice y por lo tanto debe considerarse una parte importante en su aplicación. Por esta razón los empresarios o patrones deben poner atención en la buena calidad con la que el estudio se realiza, de lo contrario se arriesgan a no cumplir con la Normatividad correspondiente o peor aún, a sufrir un lamentable incendio dentro de las instalaciones de sus empresas que provoque pérdidas materiales o hasta la vida de algún trabajador.

Para realizar todos los estudios que se exigen en el cumplimiento de la Norma, así como algunos de los trámites que se piden, el patrón tiene la opción de contratar una Unidad de Verificación que cuente con las especificaciones que la Norma requiere. La vigilancia del cumplimiento de esta norma, compete a la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Las guías de referencia que contiene la Norma son pequeñas instrucciones o especificaciones que sugiere se tomen a consideración al momento de aplicarla. Dichas recomendaciones pueden servir como un buen comienzo, sin embargo, el empresario no está obligado a cumplirlas.

3.2. LA LEGISLACIÓN EN MÉXICO

Es lamentable descubrir que hasta el momento a pesar de la efectividad, versatilidad y confianza que presentan equipos contra incendio como los rociadores, éstos no se encuentren catalogados como requerimiento obligatorio dentro de la legislación mexicana.

El deber de los profesionales de cualquier especialidad es el de realizar las actividades propias de su empleo bajo un código de ética establecido por los diferentes Colegios correspondientes a cada profesión. Por lo tanto es de suma importancia que al vislumbrar una situación como la anterior, los Ingenieros mexicanos pongan manos a la obra al respecto siempre con miras a mejorar la situación de la Seguridad, la Prevención y el Combate de Incendios en México.

Muchas veces los esfuerzos realizados por los profesionales para mejorar dicha situación se encuentran a la deriva debido a que a la legislación mexicana le falta actualizarse, mejorarse, o su aplicación se vuelve muy general además de que en la mayoría de los casos se carece de una autoridad adecuada, profesional y rigurosa que asegure el cumplimiento de las mismas.

Por ejemplo, en los Estados Unidos de América, la institución que se encarga de regular, aplicar y desarrollar normatividad en materia de prevención de incendios es la *National Fire Protection Association* (NFPA), mientras que la responsabilidad de hacerla cumplir recae en la oficina del *State Fire Marshall* (Departamento Estatal de Prevención de Incendios)⁸.

Por el contrario en México, existe un organismo que se dedica a la expedición de las normas, otro que las valida, otro que vigila su cumplimiento, otro que valida los dictámenes de la anterior y otro que le compete la aplicación de sanciones respectivas. Es decir, no existe un organismo mexicano verdaderamente especializado en materia de Protección Contra Incendios que ayude a desarrollar Normatividad efectiva y actual o desarrollar investigación sobre el tema.

En adición a esto, los intereses actuales de los empresarios que están encaminados a la obtención de la mayor utilidad con la mínima inversión, dejando de lado la efectividad, la

seguridad y la buena productividad, son algunos de los numerosos factores por los cuales la cultura de Seguridad Industrial e Higiene en el trabajo en México se encuentra atrasada o mal aplicada.

Algunos legisladores mexicanos aseguran que la normatividad en México se encuentra muy bien aplicada y que sólo es cuestión de poner énfasis en su vigilancia, pero si comparamos la situación de México con algunos ejemplos a nivel mundial, es posible darse cuenta de que hace falta algo más que solo una vigilancia adecuada. En muchos casos es necesario concienciar a todos los individuos involucrados en la materia de que el objetivo de la protección contra incendios es el de salvar vidas y bienes materiales, no el de cuidar si las normas se aplican o no.

A pesar de todo lo anterior, en la actualidad hay áreas de gran progreso dignas de resaltar. Por ejemplo, las compañías dedicadas a la Protección Contra Incendios que se especializan en el sector industrial de México y otros países de Latinoamérica, donde los clientes finales son mayoritariamente firmas multinacionales que cuentan con una buena revisión por parte de compañías que aseguran riesgos altamente protegidos, ha estimulado a que los diseñadores e instaladores hagan las cosas cada vez mejor⁹.

Entonces el cambio prioritario que se necesita en México no está en el sector industrial sino en el sector legislativo debido a que ya existe un progreso por parte de los industriales en la materia. Es posible atribuir que este progreso se ha dado en dicho sector debido a las exigencias de las empresas aseguradoras que se amparan a su vez de empresas consultoras en materia de seguridad que revisen los diversos proyectos, para cumplir con las exigencias que se piden para firmar un contrato de seguro.

Eso es un buen punto al menos para el sector industrial, ya que entonces en la mayor parte de las empresas industriales ya mejoraron y las que faltan mejorarán sus instalaciones poniendo mayor interés en materia de Seguridad Contra Incendios. Sin embargo hay otros sectores de grandes dimensiones en los que aún a nivel mundial falta mucho por hacer. Por poner un ejemplo, el sector de la construcción de casas habitación, edificios y complejos habitacionales.

Normalmente en lugares como en Estados Unidos las regulaciones sólo exigen el uso de detectores de humo en los hogares, cuestión que no ayuda a combatir y a minimizar los riesgos de incendio de manera integral. En México sólo se exige la colocación de estos dispositivos a nivel industrial o centros de trabajo, en edificios comerciales y en habitacionales sólo que presenten riesgo medio o alto, no así en construcciones de tipo habitacional de riesgo bajo.

En algunos países a nivel Latinoamericano existen varias jurisdicciones que han mejorado recientemente sus códigos de prevención de incendios y están creando o estudiando la posibilidad de formar Departamentos de Prevención de Incendios que ayuden con la mejora continua de las regulaciones. Quizás un ejemplo de éstas sea el *Cuerpo de Bomberos de Puerto Rico*, cuyo departamento de prevención de incendios es tal vez el más desarrollado de la región y que en la actualidad puso en vigencia el nuevo *Código de Seguridad Humana y Protección contra Incendios de Puerto Rico* que se encuentra basado prácticamente en normas NFPA⁶.

Proposiciones como esta ayudarían en gran medida a mejorar aún más la situación actual de México en materia de Seguridad Industrial y Protección Contra Incendios. Aún falta mucho trabajo por hacer en todo el mundo y más aún en México. Es un camino largo y difícil, pero con el apoyo de profesionales que tomen en serio su trabajo, cumplan con la ética profesional que se debe y que consideren siempre los objetivos de la Protección Contra Incendios, es posible lograr una mejora continua tanto en la legislación como en la aplicación de todas las regulaciones de este tipo.

4. REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL DISTRITO FEDERAL

Debido a que en todo proyecto de Ingeniería de Diseño, tanto de edificaciones públicas e industriales como de vivienda, se encuentra involucrada también la Ingeniería de Construcción, además de que la Seguridad y la Protección Contra Incendios es punto importante dentro de todo proyecto, es de suma importancia revisar las regulaciones existentes en México en este sector.

El *Reglamento de Construcciones del Distrito Federal* es un documento que por el momento, a nivel nacional, es el más complejo y amplio en su tipo debido a que a su vez el terreno de la Ciudad de México tiene morfología y composición variadas bastante complicadas que dificultan las actividades de construcción en él.

En algunos estados de la República Mexicana existen reglamentos locales de construcción que generalmente se encuentran referenciados o derivados de éste, sin embargo, se debe de considerar que cada Entidad Federativa tiene sus propias regulaciones locales así como su propia forma de administración, por lo que conviene que todo proyecto de Ingeniería se adapte a las condiciones y reglamentos que rijan en el sitio de ubicación de la edificación.

Este reglamento cuenta con distintos apartados donde se establecen las especificaciones que deben de cumplirse en un proyecto de diseño y construcción de una edificación cualquiera que sea el tipo de ésta. En él se mencionan de manera general las consideraciones que deben de tomar todas las personas involucradas en este tipo de proyectos, además de algunas de las responsabilidades que tanto el propietario como el Director Responsable de Obra obtienen al momento de involucrarse.

El Director Responsable de Obra es una persona encargada de verificar que se cumplan con los requerimientos y especificaciones en un proyecto de construcción, así como de la observancia del reglamento para que las autoridades correspondientes permitan la emisión de las licencias o permisos correspondientes y la ejecución de la construcción. Esta persona debe cumplir con algunos requisitos que se establecen en el mismo reglamento, algunos de ellos son los siguientes:

- 1) Debe contar con una cédula profesional de las carreras que establece el reglamento;
- 2) Debe de acreditar una evaluación ante una comisión especializada que marca el reglamento;
- 3) Debe ser una persona con amplia experiencia en la construcción y ejecución de obras de construcción;
- 4) Debe ser miembro activo del colegio de profesionales correspondiente¹⁰.

En el **Título Tercero** del Reglamento, se encuentran desarrolladas ampliamente todas las especificaciones y obligaciones de los Directores Responsables de Obra.

También en este reglamento se encuentran establecidos los requisitos que el propietario de la obra debe de cumplir para que la Administración Pública del Distrito Federal le permita realizar la construcción además de expedir los permisos y la licencia de construcción especial. Toda esta información se encuentra ubicada en el **Título Cuarto** del Reglamento. Entre algunas de los requisitos mencionados, se encuentra el llamado Visto Bueno de Seguridad y Operación que toma en consideración todas las especificaciones de seguridad antes, durante y después de la ejecución de la obra así como en la ocupación del edificio al término de la misma.

En el **Capítulo IV** del mismo título del reglamento se aclaran todos los requisitos y demás temas relacionados con la ocupación de una instalación terminada, así como con el Visto Bueno de Seguridad y Operación de una obra. Específicamente en el **artículo 69** del mismo capítulo se enlistan todas las edificaciones e instalaciones que están obligadas a obtener el Visto Bueno de Seguridad y Operación tanto para ejecutar su construcción, como para ocupar el inmueble. Este requisito también es indispensable para la expedición de los permisos y la licencia de construcción correspondientes.

El **Título Quinto** del reglamento tiene como objetivo a establecer los lineamientos que el propietario de la obra debe de cumplir en el momento de realizar el Proyecto Arquitectónico de la construcción, así como todos los trámites necesarios para la revisión de los documentos que por obligación debe entregar. En el **Capítulo IV** de esta misma sección existe un apartado especial dedicado a las prevenciones contra incendio.

Para comenzar a estudiar las prevenciones contra incendio de dicha sección, en el **artículo 90** se establece la clasificación de las edificaciones de acuerdo al grado de riesgo de incendio que se mencionó en el capítulo anterior del presente trabajo de investigación. Esta clasificación se estudiará más adelante ya que además de encontrarse en la NOM-002-STPS-2000 también es considerada en las normas técnicas complementarias del reglamento de construcciones.

Por otro lado, en el **artículo 109** del reglamento de construcciones, se dicta que las edificaciones deben contar con las instalaciones y los equipos necesarios para prevenir y combatir los incendios además de mantenerlos en condiciones aptas de funcionar en cualquier momento por lo que también deberán ser revisados y probados periódicamente⁸.

De acuerdo con los **artículos 110 al 112**, en las normas correspondientes (NOM's, Normas Técnicas Complementarias), se establecen las características y especificaciones que deben de tener los elementos constructivos y arquitectónicos, así como los espacios y procedimientos para prevenir y combatir incendios, además de algunos criterios de diseño, selección, ubicación e instalación de los sistemas o equipos contra incendio.

Si bien hasta el momento se ha mencionado de manera general el contenido del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, es importante mencionar que dicho reglamento cuenta con diferentes normas técnicas complementarias que ayudan al Ingeniero a comprender y cumplir de una mejor manera sus lineamientos. De manera particular para el presente trabajo de investigación, la Norma Técnica Complementaria que se refiere a las especificaciones que deben de cumplirse en el proyecto arquitectónico, es el documento que se discutirá a continuación debido a que en él, se encuentran estipuladas las regulaciones en materia de rociadores automáticos y la protección contra incendios.

4.1. NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO

Las Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico son un compendio de especificaciones que se refieren al Título Quinto relativo al Proyecto Arquitectónico del

Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. En ellas se mencionan todas las regulaciones que deben considerarse al realizar el proyecto arquitectónico, algunos requisitos generales y establecen las bases sobre la Prevención de Incendios que deberán cumplirse en el proyecto para obtener el Visto Bueno de Seguridad.

Las normas técnicas relacionadas con las previsiones contra incendio se encuentran en el **apartado 4.5 del Capítulo 4** del compendio y contienen los siguientes temas que son desarrollados a lo largo del documento:

- 1) Grado de Riesgo de Incendio
- 2) Resistencia al Fuego
- 3) Confinación del Fuego
- 4) Áreas de Resguardo
- 5) Dispositivos para Prevenir y Combatir Incendios
- 6) Señalización de Equipos

Estas Normas dictan que el Director Responsable de Obra, así como los Corresponsables de Obra tienen el deber de considerar lo establecido en ellas además de incluir los criterios de diseño y las resistencias de los materiales en una Memoria Descriptiva con el fin de tener por escrito las condiciones reales del proyecto. Para ello, pueden auxiliarse de las Normas Oficiales Mexicanas relativas a seguridad, fabricación y selección de equipos de combate de incendio que se enlistaron anteriormente.¹¹

4.1.1. GRADO DE RIESGO DE INCENDIO

Se entiende por *Grado de Riesgo de Incendio*, a la facilidad que tienen las estructuras, edificaciones, áreas o zonas en las que se divide un inmueble para sustentar un incendio. Esta se determina de acuerdo con sus dimensiones, uso, ocupación (cantidad de personas) que tengan cada una de ellas y cantidad de productos combustibles que se manejen dentro de las mismas divisiones. Al igual que en la NOM-002-STPS-2000, la tabla 4.1.1.1 puede servir de auxiliar para determinar el Grado de Riesgo de Incendio:

Tabla 4.1.1.1. Determinación del grado de riesgo de incendio

CONCEPTO	GRADO DE RIESGO PARA EDIFICACIONES CON VIVIENDA		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Edificaciones con uso exclusivo de vivienda	Hasta seis niveles	Más de seis y hasta diez niveles	Más de diez niveles
Usos mixtos	De acuerdo al riesgo del uso no habitacional		
CONCEPTO	GRADO DE RIESGO PARA EDIFICACIONES NO HABITACIONALES		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Altura de la edificación (en metros)	Hasta 25	No aplica	Mayor a 25
Número total de personas que ocupan el local incluyendo trabajadores y visitantes	Menor de 15	Entre 15 y 250	Mayor de 250
Superficie construida (en metros cuadrados)	Menor de 300	Entre 300 y 3,000	Mayor de 3,000
Inventario de gases inflamables (en litros)	Menor de 500	Entre 500 y 3,000	Mayor de 3,000
Inventario de líquidos inflamables (en litros)	Menor de 250	Entre 250 y 1,000	Mayor de 1,000
Inventario de líquidos combustibles (en litros)	Menor de 500	Entre 500 y 2,000	Mayor de 2,000
Inventario de sólidos combustibles (en kilogramos)	Menor de 1,000	Entre 1,000 y 5,000	Mayor de 5,000
Inventario de materiales pirofóricos y explosivos	No existen	No existen	Cualquier cantidad

La clasificación de una edificación, área o zona, se determina eligiendo la opción que aplique de manera más adecuada en cada uno de los distintos conceptos que se mencionan en la tabla 4.1.1.1, siendo el Grado de Riesgo de Incendio aquel que resulte ser el más alto de cualquiera de los rubros descritos en la tabla. De igual manera, la clasificación de la totalidad del inmueble será el Grado de Riesgo de Incendio más alto que presente cualquiera de las estructuras que lo componen.

Habiendo cumplido con lo anterior, es necesario delimitar físicamente cada una de las áreas o zonas con características similares, para evitar los efectos de la propagación del fuego y la radiación, así como considerar los dispositivos o medidas de previsión y control de incendios necesarias para aplicar en cada zona, de acuerdo a sus características constructivas y al elemento que genera el riesgo.

4.1.2. RESISTENCIA AL FUEGO

La *resistencia al fuego*, es la propiedad de un material o componente constructivo a soportar el fuego o en su caso, dar protección contra éste. Dicha resistencia puede ser medida como un Periodo de Resistencia a Fuego, es decir, es el lapso de tiempo durante el cual un

material o componente mantiene su estructura funcional ante el fuego, bajo condiciones específicas de prueba y comportamiento¹².

En este caso, las Normas señalan que los elementos constructivos, sus acabados y accesorios en las edificaciones, en función del grado de riesgo, deben resistir al fuego directo sin llegar al colapso y sin producir flama o gases tóxicos o explosivos, a una temperatura mínima de 1200° K (927° C) durante el lapso mínimo que establece la tabla 4.1.2.1 y, de conformidad a la NMX-C-307 “Industria de la construcción - edificaciones-componentes - resistencia al fuego - determinación”:

Tabla 4.1.2.1. Requerimientos de resistencia al fuego

GRUPO DE ELEMENTOS	RESISTENCIA MÍNIMA AL FUEGO (minutos)		
	Edificaciones de Riesgo Bajo	Edificaciones de Riesgo Medio	Edificaciones de Riesgo Alto
Elementos estructurales (muros de carga, exteriores o de fachadas; columnas, vigas, travesaños, entrepisos, cubiertas)	60	120	180
Escaleras y rampas	60	120	180
Puertas cortafuegos de comunicación a escaleras, rampas y elevadores.	60	120	180
Puertas de intercomunicación, muros divisorios y cancelas de piso a techo o plafond fijados a la estructura	60	60	120
Plafones y sus sistemas de sustentación	-	30	30
Recubrimientos a lo largo de rutas de evacuación o en locales donde se concentren más de 50 personas	60	120	120
Elementos decorativos	-	30	30
Acabados ornamentales, tapicería, cortinajes y elementos textiles incorporados a la edificación	-	30	30
Campanas y hogares de fogones y chimeneas	180	180	180
Ductos de instalaciones de aire acondicionado y los elementos que los sustentan.	120	120	120
Divisiones interiores y cancelas que no lleguen al techo	30	30	30
Pisos falsos para alojar ductos y cableados	60	60	60

En este apartado, se establece de manera particular para cada tipo de elemento constructivo, deben ser protegidos (con recubrimientos por ejemplo) o estar fabricados con materiales resistentes al fuego, que garanticen los tiempos mínimos de exposición que se mencionan en la tabla 4.1.2.1. Para asegurarse de dicha situación, es posible realizar pruebas de resistencia al fuego de materiales de acuerdo con lo establecido en la NMX-C-307, donde se señalan las condiciones y características en las que debe de realizarse las pruebas.

4.1.3. CONFINACIÓN DEL FUEGO Y ÁREAS DE RESGUARDO

El **confinamiento del fuego** se logra delimitando y separando un área con un grado de riesgo de incendio determinado del resto de las áreas, de manera que en caso de presentarse el siniestro se evite la propagación del fuego a otras zonas de igual o menor grado de riesgo de incendio, o a zonas diseñadas para seguridad. Esto se logra construyendo muros resistentes al fuego, que delimiten el perímetro, un área determinada y colocando puertas cortafuego que sirvan para tal efecto.

Las Normas también señalan que los ductos que se utilicen para salida de aire acondicionado, así como las chimeneas y campanas de estufas o fogones, deben prolongarse y ventilarse sobre la azotea más alta de la edificación al menos a una altura de 1.50 m del nivel de dicha azotea y, a 2 m del mismo nivel, para tiros o tolvas destinadas para la conducción de materiales diversos (ropa, basura, etc) que unan dos o más niveles de la edificación. Además, los pasos de dichos ductos en los entrepisos deben sellarse con materiales a prueba de fuego y que sean de fácil remoción para dar mantenimiento constante, así como también, aquellos ductos que cuenten con registros o buzones deberán ser de materiales resistentes al fuego y cerrarse herméticamente para evitar el paso del fuego o de humo de un nivel a otro.

Las **áreas de resguardo**, de acuerdo con la presente sección, serán zonas aisladas al fuego por muros y puertas cortafuego de cierre automático y hermético, que cuenten con las condiciones de ventilación suficiente (natural o artificial), que no propicien la propagación de fuego en el resto del edificio y, que permitan la supervivencia de sus ocupantes por un periodo mínimo de tres horas, para riesgo alto y una hora para riesgo medio. Estos periodos deben calcularse en base al aforo de personas que se prevea que las requieran, de acuerdo a la ruta de evacuación y, deben estar perfectamente señalizadas. Quedarán prohibidos los acabados o decoraciones a base de materiales inflamables en estas áreas y, el uso de estos locales como bodegas de cualquier tipo o magnitud.

4.1.4. DISPOSITIVOS PARA PREVENIR Y COMBATIR INCENDIOS

Las Normas Técnicas para previsión de incendios contemplan 5 rubros generales para diferenciar los equipos contra incendio: extintores, detectores, alarmas, equipos fijos y señalización de equipos. Esta clasificación la realiza con el fin de identificar el tipo de sistema contra incendio que debe de instalarse en una edificación tomando en consideración la clasificación o grado de riesgo que tenga.

En la NOM-002-STPS-2000 existe una clasificación muy general de los equipos contra incendio ya que sólo hace referencia a los equipos móviles (extintores) y equipos fijos (hidrantes, rociadores, etc.) contra incendio en función de su tipo de instalación. Esta clasificación aunque muy general, puede ser de gran ayuda para diferenciar los sistemas contra incendio.

En la tabla 4.1.4.1, se muestran los sistemas contra incendio con que debe de contar una edificación en función de su grado de riesgo de acuerdo con las Normas:

Tabla 4.1.4.1. Requerimientos de equipos de protección contra incendios

DISPOSITIVOS	GRADO DE RIESGO		
	BAJO	MEDIO	ALTO
EXTINTORES	Un extintor en cada nivel, excepto en vivienda unifamiliar.	Un extintor por cada 300 m ² en cada nivel o zona de riesgo.	Un extintor por cada 200 m ² en cada nivel o zona de riesgo.
DETECTORES	Un detector de incendio en cada nivel, del tipo detector de humo, excepto en vivienda.	Un detector de humo por cada 80 m ² o fracción, o uno por cada vivienda.	Un sistema de detección de incendios en la zona de riesgo (un detector de humo por cada 80 m ² o fracción con control central) y detectores de fuego en caso de que se manejen gases combustibles. En vivienda plurifamiliar, uno por cada vivienda y no se requiere control central.
ALARMAS	Alarma sonora asociada o integrada al detector, excepto en vivienda.	Sistema de alarma sonora con activación automática, excepto en vivienda.	Dos sistemas independientes de alarma, uno sonoro y uno visual, activación automática y manual (un dispositivo cada 200 m ²) y repetición en control central, excepto en vivienda.
EQUIPOS FIJOS			Red de hidrantes, tomas siamesas y depósito de agua.
SEÑALIZACIÓN DE EQUIPOS		El equipo y la red contra incendio se identificarán con color rojo.	Señalizar áreas peligrosas, el equipo y la red contra incendio se identificarán con color rojo; código de color en todas las redes de instalaciones.

4.1.4.1 Extintores

El extintor es un dispositivo móvil de forma cilíndrica que sirve para combatir conatos de incendio mediante un agente extinguidor que contiene presurizado en su interior. Existen dos

tipos de extintores de acuerdo a su tamaño: los portátiles y los móviles. Los portátiles están diseñados para su operación y transportación manual cuyo peso no excede los 20 kg. Los extintores móviles cuyo peso es mayor a los 20 kg son dispositivos diseñados para transportarlos con ruedas y operarlos manualmente. De acuerdo con la NOM-002-STPS-2000, el fuego se clasifica dependiendo del tipo de material combustible que se encuentra en ignición, tal como se establece en la tabla 4.1.4.1.1:

Tabla 4.1.4.1.1. Clases de fuego según el material sujeto a combustión

Clase A	Fuegos de materiales sólidos de naturaleza orgánica tales como trapos, viruta, papel, madera, basura y en general, materiales sólidos que al quemarse se agrietan, producen cenizas y brasas.
Clase B	Fuegos que se producen como resultado de la mezcla de un gas (butano, propano, etc) o de los vapores que se desprenden de líquidos inflamables (gasolina, aceites, grasas, solventes, etc.) con el aire y flama abierta.
Clase C	Fuegos que se generan en sistemas y equipos eléctricos “energizados”.
Clase D	Fuegos que se presentan en metales combustibles en polvo o a granel a base de magnesio, titanio, sodio, litio, potasio, zinc u otros elementos químicos.

La clasificación anterior permite diferenciar los diversos tipos de agentes extinguidores que son contenidos dentro de los extintores y que son utilizados para la extinción de un tipo de fuego en específico. Además permite, al determinar el tipo de fuego que pueda producirse en un inmueble, que el Director Responsable de Obra seleccione el tipo de extintores que se deben de instalar de acuerdo con la tabla 4.1.4.1.2:

Tabla 4.1.4.1.2. Tipo de agente extinguidor según la clase de fuego

Agente extinguidor	Fuego Clase A	Fuego Clase B	Fuego Clase C	Fuego Clase D
Agua	SI	NO	NO	NO
Polvo químico seco, tipo ABC	SI	SI	SI	NO
Polvo químico seco, tipo BC	NO	SI	SI	NO
Bióxido de carbono (CO ₂)	NO	SI	SI	NO
Halón	SI	SI	SI	NO
Espuma	SI	SI	NO	NO
Agentes especiales	NO	NO	NO	SI

En esta sección del compendio de Normas se establece que los extintores que sean instalados deben de colocarse en lugares visibles, de fácil acceso y libres de obstáculos, de tal forma que el recorrido hacia el extintor más cercano no exceda de 15 metros desde cualquier lugar en un local, tomando en cuenta las vueltas y rodeos necesarios para llegar a

uno de ellos. Deben de contar con señalización que cumpla con la NOM-026-STPS “Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías”.

Además deben de ubicarse en sitios donde la temperatura no exceda de 50° C y no sea menor de -5° C y fijarse a una altura mínima del piso no menor de 0.10 m a la parte más baja del extintor, y en caso, de encontrarse colgados, deben estar a una altura máxima de 1.50 m medidos del piso a la parte más alta del extintor. Deben protegerse de la intemperie y estar en posición para ser utilizados rápidamente.

La tendencia actual en materia de Seguridad Contra Incendios está inclinada al uso de equipos contra incendio que dependan cada vez menos de los seres humanos, motivo por el cual en países desarrollados como Estados Unidos los extintores hayan sido desplazados poco a poco de la legislación por equipos fijos como los rociadores automáticos.

4.1.4.2. Detectores de Incendios

Existen tres tipos de detectores de incendio que las Normas Técnicas contemplan: detectores de humo, detectores de calor y detectores de gases de combustión. Generalmente estos dispositivos son instalados junto con un sistema de alarma para complementar su objetivo de prevenir un desastre, o son utilizados como dispositivos de activación de equipos fijos contra incendio como los rociadores automáticos.

Los **detectores de humo** son considerados para instalarse en las edificaciones de riesgo alto, medio y bajo de tipo no habitacional y para las edificaciones de riesgo alto y medio de tipo habitacional, lo que ocasiona que un gran número de viviendas que son consideradas de riesgo bajo se encuentren aún en peligro de sufrir un desastre mayor. En países como en Estados Unidos la legislación obliga a hacer uso de detectores de humo, que se encuentran en conexión directa con los servicios locales de emergencias, en todo tipo de viviendas. Esto ha permitido disminuir la cantidad de desastres provocados por incendios, es decir, la cantidad de pérdidas humanas y bienes materiales.

En esta sección del documento se establecen algunas especificaciones particulares para este tipo de detectores como son el contar con un respaldo de energía mediante baterías

para asegurar su funcionamiento en caso de falla del suministro de energía eléctrica, cuya instalación o cableado deberá ser a prueba de explosión para minimizar daños al equipo.

Los **sensores o detectores de calor** son utilizados comúnmente con sistemas de aspersión de agua o rociadores automáticos cuya función es la de activar dicho sistema en caso de un aumento en la temperatura causado por la presencia de un incendio. La colocación y el diseño de este tipo de dispositivos involucran la elaboración de estudios técnicos que consideren la altura a la que se colocará el detector, la altura del techo y la temperatura que se registre debajo de éste, la distancia a la fuente del calor y el tipo de fuego que deberá apagarse para seleccionar el tipo de aspersor o rociador a utilizar. El tipo de sensor que se instalará deberá obedecer a la siguiente tabla:

Tabla 4.1.4.2.1. Detectores de calor de uso común

CLASIFICACIÓN DE TEMPERATURA	RANGO DE DETECCIÓN °C (°F)	PARA COLOCARSE EN TEMPERATURA AMBIENTE MÁXIMA BAJO TECHO °C (°F)
Ordinaria	58 – 79 (135 – 174)	38 (100)
Intermedia	80 – 121 (175 – 249)	66 (150)
Alta	122 – 162 (250 – 324)	107 (225)

Las Normas señalan que la instalación de los aspersores o rociadores deberá considerar la presión de operación de la red contra incendio así como contar con activación local y remota que sea automática y manual.

Los detectores de gases de combustión son sistemas cuyo diseño es bastante complejo y por ello debe de realizarse un estudio técnico de alta especialización para instalarlos además de considerar que su uso se limita a edificaciones o áreas en donde debe asegurarse que la flama o los gases incidirán de manera directa al detector ya que cualquier corriente de aire que provoque una desviación de cualquiera de los dos, repercutirá en la efectividad de funcionamiento del dispositivo.

4.1.4.3. Alarmas de Detección de Incendios

La Norma sólo considera que las edificaciones que presenten riesgo bajo, medio y alto de tipo no habitacional deben de contar con sistemas de alarmas. Los primeros dos están obligados a usar alarmas sonoras solamente y el tercero debe utilizar sistemas sonoros y visuales (luminosos) que se encuentren ubicados en sitios estratégicos de manera que puedan ser captados por cualquier persona dentro del área de influencia del incendio y en la totalidad de las rutas de evacuación.

En el caso de los edificios de riesgo alto no habitacional, el sistema de alarma debe conectarse a detectores de humo que permitan su funcionamiento automático y adicionalmente deben de contar con un sistema de activación manual conformado por activadores locales colocados en las zonas de riesgo (al menos uno por cada 200 m²) en lugares visibles y fácil acceso para el personal laboral. Además deben de contar con un local de control central o módulo de vigilancia que se encuentre ubicado en un lugar que permita establecer contacto visual directo o a través de circuito cerrado de televisión con las áreas donde se desarrolle el incendio, así como que permita acudir a ellas en un tiempo máximo de 3 minutos, contar con los equipos necesarios y suficientes para comunicarse con el exterior, alumbrado con fuente autónoma de energía y equiparse con barreras cortafuego.

Cuando el edificio cuente con sistemas de rociadores automáticos se admite la sustitución del sistema de detección de humos por sistemas mecánicos sonoros cuya fuente de funcionamiento esté asociada al paso del agua en las tuberías de alimentación.

4.1.4.4. Equipos Fijos Contra Incendio

Existen tres tipos de sistemas fijos contra incendio que la Norma considera: redes de hidrantes, redes de rociadores y redes de inundación. La Norma establece solamente como obligatorios a los sistemas de redes de hidrantes y como opcionales a los otros dos sistemas bajo ciertas condiciones.

En general, estos equipos deben de contar con tanques o cisternas de almacenamiento de agua a razón de 5 l/m² de construcción, siendo 20 000 litros la capacidad mínima de reserva

para uso exclusivo de la red contra incendios. En el caso de utilizar rociadores automáticos, la reserva de agua debe contemplar adicionalmente un volumen equivalente al 10% del gasto nominal del total de los hidrantes instalados en un nivel, que garantice un periodo de funcionamiento mínimo de 1 hora. Para las redes de inundación se debe de contar con depósitos para almacenar el agente extinguidor (CO₂, Halón, Polvo Químico Seco o espuma) en el volumen necesario de acuerdo al dimensionamiento de la red.

También deben de considerarse la instalación de por lo menos dos bombas automáticas autocebantes (una eléctrica y otra de combustión interna) con succiones independientes, capaces de suministrar agua en la red a una presión constante entre 2.5 y 4.2 kg/cm² en el punto más desfavorable. En el caso de la instalación de Rociadores Automáticos, debe de instalarse adicionalmente de manera obligatoria una bomba jockey que mantenga la presión continua en la red.

4.1.4.4.a. Redes de Hidrantes

Además de cumplir con los dos puntos anteriores, las redes de hidrantes deben de contar con tomas siamesas de 64 mm (2 ½ pulgadas) colocadas al menos una en cada fachada de la edificación o en su caso, una cada 90 m lineales de fachada del edificio y ubicadas al paño del alineamiento e un metro de altura sobre el nivel de la banqueta.

La red debe alimentar también, gabinetes o hidrantes con salidas dotadas de conexiones para mangueras contra incendios de 38 mm (1 ½ pulgadas) de material sintético, conectadas permanentemente a la toma, colocadas de manera plegada o en dispositivos que faciliten su uso en caso de incendio y estar provistas de pitones de paso variable. Estos gabinetes deben ubicarse en cada piso a no más de 60 m de distancia entre ellos de manera que cada uno logre cubrir un área de 30 m de radio y ubicar al menos uno de los gabinetes lo más cercano posible a los cubos de escaleras. De ser necesario, deben de colocarse reductores de presión para evitar que la presión de salida de los hidrantes supere los 4.2 kg/cm².

La red de distribución debe calcularse de manera que permita la operación simultánea de al menos 2 hidrantes por cada 3 000 m² en cada nivel o zona a una presión mínima de diseño

de 2.5 kg/cm² en el punto más desfavorable considerando que la tubería de alimentación principal no debe ser menor de 75 mm (3 in) de diámetro, los ramales secundarios no menores a 51 mm (2 in) y las derivaciones para las tomas de los hidrantes deben ser de 38 mm (1 ½ in) de diámetro.

4.1.4.4.b. Redes de Rociadores Automáticos

La Norma sólo permite la instalación de este tipo de sistemas con el objeto de incrementar la seguridad que ofrecen los hidrantes sin llegar a sustituir a éstos en su funcionamiento.

Además de cumplir con las condiciones de suministro que se especificaron con anterioridad, la red debe de alimentar en cada piso o zona, líneas de rociadores que se activen cada uno de manera automática e independiente por detectores de temperatura integrados. Las redes deben estar provistas de un sistema de alarma que permita al personal de vigilancia percatarse del evento y pueden estar conectadas a los sistemas de alarma sonora y luminosa que se mencionaron anteriormente.

La red de distribución debe ser calculada para permitir la operación simultánea de al menos 5 hidrantes por cada 500 m² en cada nivel con una presión mínima de diseño de 2.5 kg/cm² en el punto más desfavorable sin reducir las condiciones de operación de la red de hidrantes. Debe de considerarse la instalación de una válvula de corte normalmente abierta que permita dar mantenimiento a los rociadores sin interrumpir el funcionamiento de la red de hidrantes y de acuerdo con la Norma, también se debe considerar la instalación de reductores de presión en la red de los rociadores. Los rociadores automáticos no deben de instalarse: en áreas con riesgo de shock eléctrico (tableros, motores) o en la proximidad a material contraindicado para el uso de agua.

4.1.4.4.c. Redes de Inundación

Estas redes operan a base de CO₂, halón, polvo químico seco o espuma y se aplican exclusivamente para casos especiales que requieran de una extinción completa, que no pueda utilizarse agua y que además se justifique su uso en la memoria técnica correspondiente.

En este tipo de redes, se debe de contar con tanques o recipientes para almacenar con seguridad el agente extinguidor en la cantidad necesaria para extinguir por completo el incendio. Además la red debe alimentar directa y exclusivamente los rociadores o aspersores, contar con los medios para proveer presión y debe ser calculada para permitir la operación simultánea de todo el sistema en un tiempo mínimo.

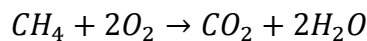
En todos los casos anteriores, la Norma dicta que en edificios de grado de riesgo medio y alto de tipo no habitacional, debe aplicarse el color rojo para los siguientes elementos: cajas de alarmas de incendio, cajas o gabinetes de mangueras contra incendio, los extintores, los carretes, soportes de mangueras contra incendio, bombas y todas las redes de tuberías contra incendio.

De esta manera, es posible observar que la legislación sobre rociadores automáticos en México es muy general, y sólo considera a estos equipos como algo opcional en edificios de grado de riesgo medio y alto no habitacionales. Además de que no menciona nada al respecto sobre su instalación, no especifica de qué tipo deben de ser, ni los criterios de diseño hidráulicos que deban tomarse a consideración. Más adelante se revisará la Norma 13 de la NFPA para encontrar que las Normas mexicanas sobre rociadores automáticos y aún más sobre protección contra incendio siguen siendo insuficientes.

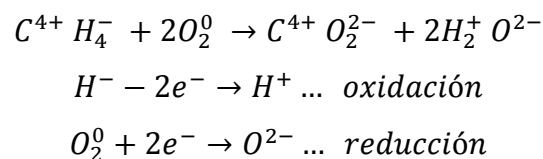
5. QUÍMICA DEL FUEGO

Para poder combatir el fuego de manera efectiva y sin peligro de sufrir algún percance indeseable, es necesario conocer sus propiedades fisicoquímicas, la manera en cómo se comporta y posteriormente fijarse una estrategia de combate para extinguirlo conociendo las herramientas adecuadas que ayuden a realizar tarea tan complicada. Por esa razón, se revisarán algunos conceptos básicos sobre el fuego, su clasificación, se estudiarán sus propiedades y la manera en que la aplicación del agua ayuda a la protección contra incendios de vidas humanas y bienes materiales.

Desde el punto de vista químico, el **fuego** es una reacción de **oxidación-reducción**. Las reacciones de oxido-reducción son aquellas en las que existe una **transferencia de electrones** desde un átomo o ión hasta otro átomo o ión. Se origina una **oxidación** por la pérdida de uno o más electrones en el átomo o ión y existe una **reducción** cuando un átomo o ión gana uno o más electrones. La sustancia que dona los electrones en la reacción es el **agente reductor** y la sustancia que acepta los electrones en la reacción es el **agente oxidante**¹³. En el proceso de combustión, a la sustancia donadora de electrones se le conoce como **combustible** y a la sustancia que acepta los electrones se le conoce como **comburente**. En el caso de un fuego provocado por metano en aire, por ejemplo, obtenemos dióxido de carbono y agua como productos finales de acuerdo con la ecuación química siguiente:



Al realizar el análisis de cargas electrónicas de la ecuación, se observa que existe una **donación** de 2 electrones por parte del hidrógeno para pasar de carga electrónica (-) a (+) y la **aceptación** de los 2 electrones por parte del oxígeno para pasar de carga electrónica (0) a (-2) para de esta manera formar el CO₂ y el H₂O como sigue:



De acuerdo con lo anterior es posible distinguir que el elemento químico que sirve como **combustible** es el hidrógeno contenido en el metano así como también que el **comburente** es el oxígeno del aire.

Por otro lado, desde el punto de vista termodinámico, el fuego es una reacción química en la que se libera gran cantidad de energía en forma de calor, por lo que es una reacción altamente exoergónica. Además, dependiendo de la naturaleza y las características fisicoquímicas del combustible, la energía de activación puede ser tan pequeña como cero (en el caso de sustancias hipergólicas) o tan grande como la necesaria para que el carbón mineral arda. Hablando de la **cinética química** de la reacción, el fuego es una reacción que presenta una **velocidad de reacción** muy grande.

De acuerdo con NFPA **el fuego** es el proceso de oxidación acelerado, acompañado de un desprendimiento de energía en forma de luz y calor de intensidades variables¹⁴. Es posible afirmar también que es la manifestación violenta de energía en forma de luz y calor resultado de una reacción química de gran velocidad conocida como **combustión**. El desprendimiento continuo de calor, así como la mezcla continua de vapores del combustible y el oxígeno del aire propician las condiciones de propagación de la misma. Por lo tanto, se dice que el proceso puede lograr condiciones de **reacción autosostenida**.

Como todas las reacciones químicas que se llevan a cabo en el universo, el fuego necesita de ciertas condiciones para que pueda desarrollarse. Para que el fuego exista es necesario la combinación de cuatro factores principales: el combustible, el oxígeno (comburente), el calor (energía de activación) y un mecanismo de reacción. De forma esquemática juntos forman el denominado tetraedro del fuego y si alguno de estos factores falta, falla o cambia sus propiedades, la reacción química de combustión **no se llevará a cabo**.

El **combustible** según NFPA es todo aquel material (sólido, líquido o gaseoso) capaz de mantener sus vapores en combustión bajo condiciones ambientales específicas¹⁵. Es decir, que es un material que en presencia de un comburente (como el oxígeno) y a una temperatura óptima (temperatura de inflamación) arde o se quema.

El **comburente** es una sustancia que se encarga de realizar la oxidación química del combustible cuando este alcanza su temperatura de ignición. El oxidante más comúnmente conocido es el Oxígeno, sin embargo existen otras sustancias oxidantes como el nitrato de sodio (NaNO_3), el clorato de potasio (KClO_3), el nitrato de amonio (NH_4NO_3) y el gas de cloro (Cl) que al encontrarse mezclados con vapores de algún combustible sólido o líquido, se obtiene una mezcla altamente reactiva e inflamable. La pólvora de las balas por ejemplo, es una mezcla de carbón (C) y azufre (S) con nitrato de sodio (NaNO_3) como el agente oxidante.

Figura 5.1. El tetraedro del Fuego



El calor es una de las formas en las que la energía se presenta en el Universo. Toda reacción de oxidación genera **calor** como resultado de la formación de sus productos, la diferencia entre una reacción de combustión y una reacción de oxidación lenta es que la primera ocurre con una velocidad de reacción tan grande que la generación de calor es mucho más rápida que la disipación del mismo, lo que causa una elevación importante en la temperatura. En algunos casos la temperatura se incrementa tanto que es posible observar una emisión de luz desde la zona de la reacción de combustión.

Cada reacción química tiene condiciones específicas a las que se lleva a cabo además de un camino único por medio del cual la transformación química sucede. El **mecanismo de la reacción** es la forma o el camino por el cual la reacción química sucede o se lleva a cabo. El mecanismo de cada reacción es único de manera que si éste es interrumpido o por alguna circunstancia especial cambia, la reacción es sustituida por otra que dará productos totalmente diferentes a los de la reacción original o simplemente la reacción no se llevará a cabo.

La **energía de activación**, es la energía necesaria para que los reactivos comiencen la interacción entre sí para dar origen a una reacción química de donde resulten los productos. Existen casos en los que la energía de activación de una reacción es tan baja que con el simple hecho de poner en contacto a los reactivos ésta se lleva a cabo (sustancias hiperbólicas). Sin embargo en la mayoría de las reacciones de combustión es necesario primero proporcionar cierta energía para que los componentes inicien la combustión, ésta puede ser una chispa o la aplicación de calor al combustible previamente hasta alcanzar su temperatura de ignición.

La **temperatura de ignición** de un material, es la temperatura a la cual debe incrementarse un material combustible (generalmente sólido) mediante el aporte de energía calorífica, de manera que las moléculas de esa sustancia se combinen rápidamente con las moléculas de oxígeno del aire. A diferencia del la anterior, la **temperatura de inflamación** (flash point) es la temperatura de un **líquido** a la cual debe incrementarse para desprender suficiente vapor y formar una mezcla inflamable con el aire cercano a la superficie del líquido. A pesar que el punto de inflamación es una característica que se le adjudica a los líquidos, existen algunos sólidos, como la naftalina, que se subliman o se evaporan lentamente a temperatura ambiente y presentan un punto de inflamación aún siendo sólidos. La **temperatura de combustión** (fire point) es la temperatura, unos grados por encima de la temperatura de inflamación, a la cual se inicia un proceso de combustión auto sostenida de los vapores de un líquido. La **temperatura de autoignición** es la temperatura de un líquido inflamable en la cual el proceso de combustión se lleva a cabo sin ser necesaria la presencia de una fuente de ignición. Esta temperatura se encuentra por encima de las tres anteriores e incluso puede ser arriba del punto de ebullición del líquido.

Debido a que las moléculas en un líquido se encuentran siempre en movimiento, es que existe un escape continuo de moléculas en la superficie del líquido hacia el exterior y en contraposición a este fenómeno también hay inclusión de moléculas del exterior a la superficie del líquido cuando éste se encuentra contenido en un recipiente cerrado. Cuando el recipiente se encuentra abierto a la atmósfera y las moléculas continuamente escapan, a la agrupación de estas se les conoce como vapor, de lo contrario cuando el recipiente se encuentra cerrado las moléculas que se escapan se encuentran confinadas al espacio

donde el vapor se acumula y eventualmente se alcanza un punto de equilibrio donde la cantidad de moléculas que escapan es igual a la cantidad de moléculas que regresan a la superficie. La presión que presenta el líquido en este punto de equilibrio se denomina ***presión de vapor***.

De manera simultánea, cuando la temperatura de un líquido se incrementa, su presión de vapor también aumenta y si el líquido es contenido en un recipiente abierto a la atmósfera, la temperatura del líquido puede continuar en incremento hasta que la presión de vapor del líquido sea igual a la presión atmosférica. La temperatura en este punto se conoce como ***temperatura de ebullición***.

Por otro lado, una ***flama*** es una reacción gaseosa de oxidación, la cual ocurre en una región del espacio con una temperatura mucho mayor que la de sus alrededores y la cual normalmente emite una luz, tal y como ocurre con la flama de una vela o de un quemador de gas. Cuando una flama se esparce hacia los alrededores lejos de la fuente de ignición a través de la mezcla combustible/aire, entonces se dice que existe una ***propagación de la flama***.

Existe otro tipo de combustión que no involucra flama alguna conocida como combustión sin flama o incineración en forma de brasas. El carbón y los cigarros arden de esta manera. La incineración en forma de brasas generalmente se limita a materiales porosos que forman desechos carbónicos cuando se calientan.

Los ***límites de inflamabilidad*** son los límites ***mínimo*** y ***máximo*** de concentración de combustible en un comburente (oxidante) a través de los cuales, una vez iniciada la flama, continuará su propagación a una temperatura y presión específicos. Cuando la temperatura de la mezcla se incrementa, el rango de inflamabilidad se amplía, y cuando la temperatura de la mezcla baja, el rango de inflamabilidad se reduce.

5.1. EL PROCESO DE COMBUSTIÓN Y LA TRANSFERENCIA DE CALOR

Para comprender mejor el proceso de la combustión, es necesario analizar el caso en el que una tabla de madera es quemada por acción del fuego y las diferentes etapas que presenta hasta llegar a quemarse en su totalidad.

Se tiene una tabla de madera que se calienta inicialmente por medio de una radiación térmica cualquiera. Al tiempo que la temperatura de la superficie aumenta hasta alcanzar la temperatura de ebullición del agua, el agua contenida en el interior de la madera comienza a evaporarse. Cuando el calentamiento continuo de la fuente de radiación permite que toda el agua se evapore hasta casi secar la totalidad de la tabla, entonces la superficie de la madera se torna de un color oscuro al alcanzar una temperatura aproximada de 300° C. Esta coloración de la superficie de la madera es evidencia visible de una descomposición química de la materia por acción del calor llamada pirolisis. Cuando la pirolisis se presenta en la madera, se desprenden gases combustibles de esta que dejan un residuo carbonoso y aislante de calor conocido como carbón de leña.

En este punto, la cantidad de gases combustibles es la óptima para que exista la combustión, sin embargo no será posible si no hasta que una flama, una chispa o alguna fuente de moléculas activadas químicamente (energía de activación) se presenten o sean suficientes para mantener la ignición. También es posible que la combustión se presente si la madera alcanza su temperatura de autoignición.

Una vez que la ignición ocurre, la difusión de una flama cubre de inmediato la totalidad de la superficie pirolisada provocando que el combustible se caliente aún más y la pirolisis aumente adelgazando la tabla de madera. Aun cuando la fuente inicial de calor sea retirada del lugar, el calor necesario para mantener la combustión lo proveen las mismas llamas.

Hasta este punto si la combustión continúa, las flamas irán desapareciendo debido a que la superficie de la tabla pierde gran cantidad de calor por la radiación térmica y por la conducción térmica que existe hacia el interior de la madera. Posteriormente en la superficie se va formando una capa de carbón aislante que limita el flujo del calor hacia el interior de la madera y consecuentemente disminuye la pirolisis.

Cuando la pirolisis ha disminuido hasta el punto en el que la cantidad de gases combustibles producidos ya no es suficiente para mantener la combustión de los mismos, entonces el oxígeno del aire entra en contacto directo con la superficie del carbón permitiéndole experimentar una combustión en forma de brazas.

Si esta tabla de madera es la única en el lugar, el proceso de combustión terminará muy pronto cuando la temperatura del carbón de leña disminuya por debajo de su temperatura de inflamabilidad debido a que en este punto ya no existe superficie de la madera que pueda quemarse. Sin embargo, si al lado de esta tabla de madera, se encuentran otras bajo las mismas condiciones iniciales que la primera, entonces el fuego se propagará entre la totalidad de las tablas hasta que ya no exista más superficie que sea posible quemar. Si este fuego sale de control y sigue propagándose por todo el lugar aprovechando otros materiales combustibles alrededor, entonces es considerado como incendio.

El calor, es un factor muy importante en la combustión de los materiales ya que éste es el que provee la energía necesaria para lograr que un material combustible arda. Sin la presencia del calor o la transferencia de éste por algún otro cuerpo externo, la combustión nunca se llevaría a cabo. En la mayoría de los incendios, la transferencia de calor es la que domina en el proceso de la combustión desarrollándose mediante tres métodos diferentes: la conducción, la convección y la radiación.

Cuando un cuerpo que tiene una temperatura específica entra en contacto directo con otro de menor temperatura, se dice que el primero calentará al segundo hasta alcanzar un equilibrio de temperaturas; a este proceso de transferencia de calor se le conoce como **conducción**. De esta manera, si ponemos en contacto una tubería que conduce vapor con una tabla de madera, el vapor transferirá su calor a través del contacto entre la tubería y la madera ya que en este caso la tubería sirve como conductor de calor.

La ley de Fourier de la conducción térmica expresa que la cantidad de calor que se transfiere por conducción a través de una pared con espesor específico es proporcional al cambio de

temperatura a través de la pared y a la superficie de la misma. De manera que matemáticamente se expresa:

$$q = k A \Delta T$$

De donde q es la cantidad de calor transferido, k es la conductividad térmica propia del material de la pared (concreto, ladrillo, plástico, etc.), A es la superficie de la pared y ΔT es la diferencia de temperaturas que existe entre un punto x_0 inicial en un extremo de la pared y un punto x_1 final en otro extremo de la pared.

Existen materiales que al igual que la tubería del ejemplo anterior, tienen la capacidad de absorber y transferir el calor por medio del contacto directo, a este tipo de materiales se les denomina **conductores** del calor. Por el contrario, existen materiales cuya capacidad de transferir el calor por medio del contacto directo es muy poca o nula, por lo que a estos elementos se les conoce como **aislantes** del calor.

Al proceso de transferencia de calor a través de un medio en movimiento ya sea líquido o gas se le conoce como transferencia por **convección**. La convección se presenta por ejemplo cuando una flama caliente por medio de la conducción a las partículas de aire más cercanas a ella, entonces el aire que se encuentra rodeando la flama disminuye su densidad debido al aumento de temperatura que presenta ocasionando que el aire que se encuentre más lejos de la flama se acerque a ella para ser calentado de la misma forma y así sucesivamente hasta calentar todo el aire que se encuentre en el lugar. Entonces la circulación del aire caliente a través del cuarto permite transferir el calor de la flama a otros cuerpos que se encuentren distantes a esta por medio de la convección.

La ley de enfriamiento de Newton propone que la cantidad de calor que se transfiere de una superficie a un fluido por convección es proporcional a la diferencia de temperaturas entre los dos, de manera que matemáticamente podemos expresar lo siguiente:

$$q = h \Delta T$$

De donde q es la cantidad de calor transferido por unidad de área, h es el coeficiente de transferencia de calor propio del medio donde se lleva a cabo el proceso (gas, aire, agua, etc.) y ΔT es la diferencia de temperaturas que existe entre la superficie del material y el fluido.

La **radiación** es la forma en la que la energía viaja a través del espacio o los materiales como ondas electromagnéticas como la luz, las ondas de radio o los rayos X. Cuando las ondas llegan hasta un cuerpo, éste las puede absorber, reflejar o transmitir dependiendo de sus propiedades fisicoquímicas. Entonces el calor puede ser transmitido de manera semejante a través de ondas de calor. La luz visible se encuentra en longitudes de onda entre 0.4×10^{-6} m y 0.7×10^{-6} m (desde el violeta al rojo). Las emisiones de onda de los procesos de combustión ocurren en la región del infrarrojo (longitudes de onda mayores que las del rojo).

En este caso, la ley de Stefan-Boltzman establece que la radiación que se emite de una superficie de color negro por unidad de área, es proporcional a su temperatura absoluta elevada a la cuarta potencia, es decir, que puede expresarse como:

$$q = \varepsilon \sigma T^4$$

Donde q es la cantidad de radiación emitida por unidad de superficie, ε es el factor de corrección de la emisividad de la superficie, σ es la constante de proporcionalidad de Stefan-Boltzman y T es la temperatura absoluta de la superficie¹⁶.

5.2. LA EXTINCIÓN DEL FUEGO

Básicamente existen cuatro formas en las que un fuego puede extinguirse:

1. La separación física del material combustible de la flama.
2. La remoción o dilución del oxígeno suministrado.
3. La disminución de la temperatura del combustible o de la flama.
4. La adición de sustancias químicas que modifiquen los mecanismos de la reacción de combustión.

Cualquier técnica o método de extinción de incendios puede involucrar uno de los mecanismos anteriores, o más comúnmente, la combinación de varios de ellos. Los rociadores automáticos por ejemplo, aprovechan algunas de las ventajas que el agua provee para la extinción de un fuego al aplicarla en manera de rocío. Cuando el agua se aplica de esta forma al fuego producido por un combustible sólido, la extinción se logra al absorber el calor producido por la flama y por lo tanto, la consecuente disminución de la temperatura del combustible y la flama. Además el vapor de agua que se genera puede desplazar el oxígeno que se encuentra alrededor del fuego sofocándolo hasta su extinción.

Existen otros medios de extinción del fuego como el polvo químico seco de los extintores que aprovecha el desplazamiento del oxígeno y modifica el mecanismo de la combustión. La espuma aprovecha también el desplazamiento del oxígeno al formar una capa sobre la superficie del líquido combustible que lo separa del ambiente y además absorbe el calor del combustible enfriándolo hasta extinguir el fuego.

5.2.1. EXTINCIÓN CON AGUA

La mayoría de las personas podrían pensar que el agua es el agente extinguidor más utilizado por su bajo costo y su alta disponibilidad, en comparación con otros líquidos extinguidores. Sin embargo, resulta que tiene otras propiedades aún más importantes que la colocan como el mejor agente extinguidor líquido, para la mayoría de los fuegos.

El agua posee una alta energía de vaporización por unidad de masa, al menos cuatro veces más alta que cualquier otro líquido no inflamable. Es excepcionalmente no tóxica, en comparación con otros fluidos como el Nitrógeno, que a pesar de sus propiedades inertes puede causar asfixia. El agua se puede almacenar a presión y temperatura normales. Su punto de ebullición (100 °C) está muy por debajo del rango de temperaturas de pirolisis (250 – 450°C) de la mayoría de los combustibles sólidos, por lo que el enfriamiento de las superficies pirolisadas por evaporación del agua es eficiente. Adicionalmente, su bajo costo y su gran disponibilidad hacen del agua el mejor agente extinguidor de fuego ya que ningún otro líquido, sin importar el costo, puede igualar estas propiedades.

Sin embargo, el agua no es un agente de extinción absolutamente perfecto. Se congela por debajo de los 0 °C; conduce la electricidad; además puede dañar irreversiblemente algunos tipos de mobiliario. El agua puede no ser efectiva para extinguir fuego producido por líquidos inflamables, especialmente aquellos líquidos inflamables que son insolubles en agua y flotan sobre su superficie, tal como los hidrocarburos. El agua puede ser incompatible con algunos metales o ciertos productos químicos con los que suele reaccionar.

El calentamiento del agua produce vapor que sofoca el incendio y reduce la temperatura de la flama causando alguna reducción en la velocidad de combustión, pero este efecto es generalmente pequeño y debe considerarse como una primera aproximación al modelo del proceso de extinción. En algunos casos, como el fuego a partir de un gas puro, el agua puede extinguirlo enfriando la flama en lugar de la fuente de vapor combustible. En conclusión, la combinación de los distintos mecanismos mencionados anteriormente es lo que proporciona la alta efectividad del agua como agente extinguidor.

A pesar de sus desventajas, el agua puede extinguir fuego mediante la combinación de mecanismos: enfriando el combustible sólido o líquido, enfriando la llama en sí, generando vapor que evita el acceso al oxígeno y bloqueando la radiación por la formación de neblina. Los dos medios más comunes de aplicación del agua son mediante el chorro de una manguera y mediante el rocío de boquillas aspersoras de agua o rociadores automáticos.

Las mangueras contra incendio son mangueras de gran flexibilidad capaces de conducir agua a altas presiones para el combate de incendios. Generalmente dichas mangueras son conectadas a hidrantes fijos de instalaciones contra incendio, o a camiones de bomberos de donde el agua es tomada y conducida a través de la manguera.

Las mangueras contra incendio son fabricadas con tramos de tuberías flexibles de polímero resistente como goma de poliuretano, estireno-butadieno o nitrilo-butadieno, las cuales son revestidas con hilos y filamentos de fibras sintéticas como el nylon o poliéster, para darles resistencia a la presión del agua y a la abrasión. Además cuentan con una boquilla en uno de sus extremos que regula la forma del patrón de descarga del agua para combatir el fuego con mayor efectividad.

Los rociadores automáticos son sistemas de tuberías (generalmente de acero) interconectadas, que son distribuidas sobre un área o superficie que se desea proteger y que cuentan con numerosos ramales, al final de los cuales se encuentran las boquillas aspersoras de agua o rociadores, ubicados sistemáticamente para proteger de una manera efectiva. Estos sistemas son alimentados por bombas diseñadas para mantener una alta presión en el sistema y asegurar cierta cantidad de agua por un tiempo determinado, cuando el sistema es activado. La activación de estos sistemas es automática mediante unos dispositivos que se encuentran colocados en las boquillas rociadoras, los cuales al detectar la presencia de radiación de calor debida a un incendio, permiten el paso del agua a través de la boquilla para rociar agua sobre el fuego y apagarlo.

Los rociadores son colocados de manera distribuida, asegurando una protección total del área de acuerdo con requisitos mencionados en normatividad correspondiente. El material del que están constituidas las boquillas rociadoras, normalmente es latón recubierto con otro material si es necesario protegerlo de la corrosión. Las tuberías son de materiales diversos tales como acero galvanizado, acero inoxidable, acero al carbón, cobre e incluso CPVC. Algunos de los requisitos básicos para el diseño de estos sistemas serán tratados en capítulos más adelante del presente trabajo de investigación.

5.2.2. EXTINCIÓN CON ESPUMA

La espuma contra incendio es un conjunto de burbujas formadas de diferentes maneras a partir de soluciones acuosas de agentes espumantes especialmente formulados. Debido a que la espuma es mucho más ligera que cualquier líquido inflamable, ésta flota sobre el líquido, desplazando el aire, enfriando, aislando continuamente con una capa de vapor y conservando material que detiene o previene la combustión.

La aplicación principal de los agentes de espuma es la de combatir fuegos producidos por líquidos inflamables como el petróleo, las gasolinas, grasas, aceites, etc. Si el líquido inflamable en cuestión es más ligero que el agua y, además es insoluble en la misma (grasa o aceite), entonces la aplicación solamente de agua resultaría en la flotación del líquido sobre ella, formando una capa que continuaría con la combustión. Posteriormente, la elevación continua de la temperatura por la presencia del fuego, provocaría una acumulación

de vapor de agua bajo la superficie la capa mencionada y, terminaría en una muy probable erupción del líquido para liberar el vapor, esto debido a que el agua cuenta con un punto de ebullición más bajo que la gran mayoría de este tipo de sustancias. Las espumas son las principales herramientas para combate de incendios que involucren cantidades considerables de productos derivados del petróleo, como aquellos que se encuentran en refinerías, tanques y áreas de almacenamiento, etc.

Por otro lado, si el líquido inflamable es soluble en agua (alcohol), entonces la adición de agua suficiente diluye el líquido hasta el punto en el que ya no sea inflamable. Sin embargo, si el líquido se encuentra contenido en un tanque con gran profundidad, la demanda de agua sería demasiada, por lo tanto es preferible utilizar espumas resistentes a alcohol para estos casos. Si la naturaleza del líquido es desconocida, la espuma puede ser elegida en lugar de aplicar directamente el agua. Otra aplicación importante de los agentes de espuma, es en líquidos o sólidos que están ardiendo en espacios con acceso difícil, tal como un cuarto en un sótano o la bodega de un buque. En estos casos la espuma se utiliza para inundar por completo el compartimiento.

La espuma se obtiene mezclando un concentrado espumógeno con agua, en una concentración apropiada, agitando y aireando posteriormente la disolución hasta formar burbujas. Las concentraciones de concentrado de espuma en agua que más se utilizan comercialmente hablando, son de 3% y 6%. Todo lo anterior se lleva a cabo en equipos especializados, que pueden utilizarse en conjunto con mangueras o, incluso en equipos más complejos que son fijos, ambos utilizados por los bomberos.

Existen dos tipos diferentes de espumas principalmente: las espumas regulares y las espumas resistentes a alcohol. Las espumas regulares son aquellas que se utilizan para extinguir fuegos de líquidos inflamables de hidrocarburos o sustancias que **no** son **solubles** en **agua**, también llamadas **espumas polares**. Las espumas **resistentes** al **alcohol**, son utilizadas para extinguir fuegos de líquidos inflamables que son **solubles** en **agua** y que pueden destruir las burbujas de la espuma fácilmente. A estas se les conoce como **espumas no polares**.

Las espumas de extinción se definen por su **coeficiente de expansión** (la relación entre el volumen de espuma final y el volumen de disolución de espumógeno inicial, antes de adicionarle el aire). Según este valor, las espumas se dividen en tres clases:

- 1) Espumas de baja expansión; con un coeficiente inferior a 20.
- 2) Espumas de media expansión; con un coeficiente comprendido entre 20 y 200.
- 3) Espumas de alta expansión; con un coeficiente entre 200 y 1000.

El uso de la espuma contra incendio requiere de atención a sus características generales. La espuma se rompe y vaporiza su contenido de agua bajo el ataque de calor y la llama. Por esta razón, se debe de aplicar la espuma en cantidad y velocidad suficientes para compensar dicha pérdida, además de asegurar la formación de la capa superficial que extinga el fuego.

5.2.3. EXTINCIÓN CON GASES INERTES

El método principal del agua para extinguir el fuego es por medio del enfriamiento. Por otro lado, los gases inertes actúan principalmente por dilución para extinguir un fuego. El dióxido de carbono es el gas inerte más comúnmente usado, aunque el nitrógeno y el vapor de agua también se utilizan. Teóricamente el Helio, Neón o Argón pueden utilizarse pero son muy caros y no hay razón alguna para utilizarlos excepto en casos especiales, tal como los incendios del magnesio.

La tabla 5.2.3.1 presenta las proporciones mínimas de dióxido de carbono o nitrógeno que, si se adicionan al aire, formarán una atmósfera inerte en la cual diversos vapores no arden. En términos de volumen, el dióxido de carbono es substancialmente más efectivo que el nitrógeno. Sin embargo, se puede aclarar que si se toma una unidad de volumen de dióxido de carbono, ésta es aproximadamente 1.57 veces más pesada que la misma cantidad de volumen de nitrógeno, por lo que los dos gases tienen casi la misma efectividad en términos del peso bajo las mismas condiciones ambientales. Ambos gases, en cantidad suficiente, pueden prevenir la combustión de casi cualquier cosa excepto ciertos metales o químicos inestables.

Tabla 5.2.3.1. Relaciones mínimas en volumen de CO₂/aire o nitrógeno/aire necesarias para prevenir la combustión de diversos vapores a 25 °C.

Vapor	Dióxido de Carbono		Nitrógeno	
	(CO ₂ /aire)	(% O ₂)	(N ₂ extra/aire)	(% O ₂)
Disulfuro de Carbono	1.59	8.1	3.0	5.2
Hidrógeno	1.54	8.2	3.1	5.1
Etileno	0.68	12.5	1.00	10.5
Etiléter	0.51	13.9	0.97	10.6
Etanol	0.48	14.2	0.86	11.3
Propano	0.41	14.9	0.78	11.8
Acetona	0.41	14.9	0.75	12.0
n-Hexano	0.40	15.0	0.72	12.2
Benceno	0.40	15.0	0.82	11.5
Metano	0.33	15.7	0.63	12.9

Fuente: *Fire Protection Handbook*, NFPA

La tabla anterior también muestra que la adición de cualquiera de los dos gases (dióxido de carbono o nitrógeno), reduce el nivel de oxígeno a un punto al cual los seres humanos pueden sufrir efectos indeseables. En el caso del dióxido de carbono, incluso pueden ocurrir adicionalmente efectos psicológicos, al utilizar las concentraciones requeridas para extinguir el fuego. Por esta razón, se debe estudiar de la factibilidad de utilizar un sistema de supresión a base de gases inertes antes de instalarlo o inclusive usarlo.

Al realizar una comparación, el dióxido de carbono tiene la ventaja de que puede almacenarse como líquido en cilindros a una presión moderada de unas 58 atmósferas (60 kg/cm²) a 21 °C, mientras que el nitrógeno a la misma temperatura debe almacenarse como gas, usualmente a 140 atmósferas (145 kg/cm²). Un cilindro de tamaño específico a 21 °C y las presiones mencionadas, podría aguantar un volumen de dióxido de carbono 3 veces mayor que de nitrógeno (medido a condiciones atmosféricas después de la expansión). Como resultado de estos factores, el dióxido de carbono se utiliza más comúnmente que el nitrógeno.

5.2.4. EXTINCIÓN CON AGENTES HALOGENADOS

Los agentes extinguidores halogenados, conocidos como **halones**, son derivados químicos del metano (CH₄) o del etano (CH₃-CH₃), en los cuales algunos o todos los átomos de hidrógeno han sido reemplazados por átomos de flúor, cloro o bromo, o por alguna

combinación de estos halogenuros. Estos agentes son líquidos cuando se almacenan en tanques presurizados a temperaturas normales, pero muchos de ellos son gases a presión atmosférica y temperaturas normales.

Los agentes halogenados (muchos de ellos llamados también agentes limpios) pueden utilizarse para aplicaciones contra incendio similares a las que el dióxido de carbono se usa. Sin embargo, su mecanismo de acción es distinto ya que el CO₂ busca la sofocación del fuego desplazando el oxígeno, mientras que los agentes halogenados atacan modificando el mecanismo de la reacción. De ahí que su efectividad sea mayor con respecto al CO₂. Estos agentes por ejemplo, pueden utilizarse en fuegos de tipo eléctrico, en casos donde el agua o el polvo químico seco puedan causar daños, o por gases inertes que inundan compartimentos. Los agentes halogenados tienen dos ventajas principales sobre el dióxido de carbono:

- 1) Ciertos agentes halogenados son efectivos en concentraciones volumétricas mucho menores, de modo que el oxígeno remanente en el aire luego de la completa inundación del compartimiento, permite una cómoda respiración.
- 2) Para muchos agentes halogenados, solo ocurre una evaporación parcial inicialmente durante la expulsión desde una boquilla y, el líquido, puede proyectarse entonces a mayor distancia que el dióxido de carbono.

En la tabla 5.2.4.1 se presentan las capacidades inertes de dos agentes halogenados (Halón 1301 y Halón 11211). Comparando esta tabla con la presentada para el dióxido de carbono anteriormente, puede observarse que los agentes halogenados son más efectivos ya que para las mismas condiciones, se requiere menos cantidad del gas.

Sin embargo, los inconvenientes de usar estos agentes halogenados tienen que ver con la toxicidad y la corrosividad de sus productos de descomposición, además de los efectos perjudiciales recientemente descubiertos que los compuestos halogenados tienen en la capa de ozono de la Tierra. Esto ha provocado que el uso de este tipo de agentes, se haya incluso prohibido en algunos países del mundo.

Tabla 5.2.4.1. Relaciones mínimas en volumen de halones/aire necesarias para prevenir la combustión de diversos vapores a 25 °C.

Vapor	Halón 1301		Halón 1211	
	(1301/aire)	(% O ₂)	(1211/aire)	(% O ₂)
Hidrógeno	0.29	16.2	0.43	14.7
Disulfuro de Carbono	0.15	18.2	---	---
Etileno	0.13	18.5	0.114	18.8
Propano	0.073	19.5	0.065	19.7
n-Hexano	---	---	0.064	19.7
Etil éter	0.070	19.6	---	---
Acetona	0.059	19.8	0.054	19.9
Metano	0.054	19.9	0.062	19.7
Benceno	0.046	20.0	0.052	19.9
Etanol	0.045	20.0	---	---

Fuente: *Fire Protection Handbook*, NFPA

5.2.5. EXTINCIÓN CON AGENTES QUÍMICOS SECOS

Los polvos químicos secos, proporcionan una alternativa para evitar el uso del dióxido de carbono o los halones para extinguir fuego sin utilizar agua. Estos polvos, de tamaño entre 10 y 75 micrómetros, se proyectan por medio de un gas inerte. De los siete agentes químicos secos que se utilizan, solo el fosfato mono amónico es efectivo para combatir los incendios profundos, ya que se forma una capa vidriosa de ácido fosfórico en la superficie del combustible.

De manera semejante a los agentes halogenados, los polvos químicos secos combaten al fuego modificando o bloqueando el mecanismo de la reacción de combustión. Sin embargo el uso de este tipo de sustancias tiene algunas desventajas como la acumulación de polvos en el sitio o la corrosión. La aplicación de cualquier agente químico seco para combatir incendios eléctricos es seguro para los bomberos, desde el punto de vista del riesgo por choque eléctrico. Sin embargo todo polvo químico puede producir algún grado de corrosión o algún otro tipo de daño. Especialmente el fosfato mono amónico puede dañar equipo eléctrico muy delicado.

Debido a lo anterior, la aplicación más común para los agentes químicos secos es para fuegos relativamente pequeños provocados por la presencia de líquidos inflamables. En el caso de incendios en cocinas que involucren grasa o aceites calientes, es preferible utilizar

un químico seco alcalino como el bicarbonato de potasio. En seguida, en la tabla 5.2.5.1, se enlistan los nombres de los agentes químicos utilizados para el combate de incendios, sus fórmulas y sus nombres comerciales. En cada caso las partículas de polvo se encuentran recubiertas de estearato de zinc o silicona para evitar el endurecimiento y promover el flujo libre.

Tabla 5.2.5.1 Tipos de Agentes químicos secos

NOMBRE QUÍMICO	FÓRMULA	NOMBRE COMERCIAL
Bicarbonato de sodio	NaHCO ₃	Polvo para hornear
Cloruro de sodio	NaCl	Sal común
Bicarbonato de potasio	KHCO ₃	“Púrpura K”
Cloruro de potasio	KCl	“Súper K”
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	“Karate macizo”
Fosfato mono amónico	(NH ₄)H ₂ PO ₄	“ABC” o multipropósito
Urea + bicarbonato de potasio	NH ₂ CONH ₂ + KHCO ₃	“Monnex”

Fuente: *Fire Protection Handbook*, NFPA

Es difícil realizar una comparación con precisión entre un polvo químico seco y otro ya que, visualizar las diferencias químicas requeriría que cada uno de los agentes tenga un tamaño de partícula idéntico, lo cual es difícil de lograr.

Es claro que los agentes químicos secos sofocan la flama por medio de un mecanismo químico, formando productos volátiles que reaccionan con los átomos de hidrógeno o los radicales hidroxilo. Sin embargo las reacciones exactas aún se desconocen. Aunque la principal función es probablemente la remoción de los elementos activos, los polvos químicos también inhiben la combustión absorbiendo calor, bloqueando la radiación del calor, y en el caso del fosfato mono amónico, formando una capa superficial.

6. LEGISLACIÓN INTERNACIONAL EN PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

La condición de ciudadanos soberanos que los habitantes de la República Mexicana tienen implica que tengan el derecho de exigir cierto grado de calidad y seguridad en sus distintos tipos de necesidades humanas. Es obligación del gobierno el implantar métodos o sistemas de vigilancia a éstas exigencias. Necesidades que van desde alimentación y esparcimiento hasta seguridad, salud y reconocimiento social, han dado lugar a que el gobierno desarrolle leyes y normas en los distintos sectores de la sociedad mexicana.

En adición a esto, quizás algunos procesos de índole económica como la globalización han provocado que en estas últimas décadas, de las numerosas negociaciones entre países de todo el mundo, nazca la necesidad de normalizar o estandarizar un mercado, producto o un servicio.

La diversidad de normas que existen en el mundo es bastante amplia. Existen normas de calidad para regular el procesamiento de alimentos, normas para regular los procesos en todo tipo de industrias así como también existen normas que regulan la seguridad y los procesos de diseño de equipo contra incendio. También existen numerosas regulaciones para el sector de la Seguridad Industrial y la Protección contra Incendio alrededor del mundo.

Tal como se mencionó en capítulos anteriores de este trabajo de investigación, las principales normas en materia de seguridad contra incendios que existen en México y que hacen mención a los rociadores son la NOM-002-STPS-2003 y el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (junto con sus normas técnicas complementarias). Sin embargo, esta normatividad es insuficiente o inefectiva para cumplir con el reto de salvaguardar vidas humanas y bienes materiales.

En casos como el anterior, es necesario recurrir a Normatividad Internacional que sea realmente efectiva y aplicable en nuestro país si lo que se desea es salvar vidas. De acuerdo con la **Ley Federal sobre Metrología y Normalización** en su **artículo 53** párrafo tercero, cuando no exista norma oficial mexicana aplicable, las dependencias competentes podrán requerir que los productos o servicios ostenten las especificaciones internacionales con que

cumplen, las del país de origen o a falta de éstas, las del fabricante. Es decir, que en caso de no encontrar una norma que sea correctamente aplicable para resolver un caso en específico, es posible recurrir a normas de talla internacional.

En materia de rociadores automáticos sucede una problemática similar a lo que se planteó anteriormente, ya que **no existe** regulación alguna que sea efectiva para la instalación y el diseño de sistemas de rociadores contra incendio. Por lo tanto, es necesario recurrir a normas internacionales como las ISO.

Internacionalmente, entidades como la Organización Internacional para la Normalización (ISO) y el Consejo Internacional de Códigos (ICC) se han dado a la tarea de crear normas, validar algunas propuestas de normas e incluso en algunos casos a verificar y certificar organizaciones que desean cumplir con sus distintas normatividades. Sin embargo, aún este nivel de organismos considera en muchos de los documentos que desarrollan, que la normativa de la NFPA posee un nivel de especialización tan alto en la protección contra incendios, que hace referencia a esta normativa.

6.1. LAS ORGANIZACIONES DE NORMALIZACIÓN EN EL MUNDO

Existen organismos tales como la ISO, el ICC y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) que de igual manera emiten o crean normas sobre Protección contra Incendios de aplicación a nivel mundial, sin embargo dicha normativa tiene como objetivo principal el control de calidad en los distintos procesos que las compañías ejecutan y por ende el nivel de especialización técnica es muy general. La manera más sencilla de resolver este problema, es establecer que algún sistema, equipo o instalación cumplan con algún código o estándar más especializado en la materia y entonces se adopta como una normatividad de referencia.

ISO por ejemplo, cuenta con normas como la **ISO 6182-1/11 Fire Protection – Automatic Sprinkler Systems**, dedicadas a los rociadores automáticos en donde se exponen temas relacionados con el funcionamiento, la manufactura y las pruebas que deben realizarse a los rociadores, las válvulas y demás accesorios que comprenden un sistema de rociadores

automáticos, pero no establece ni especifica criterios para el diseño ni requerimientos de instalación para estos sistemas¹⁷.

También cuenta con otras normas en materia de protección contra incendios pero están enfocadas más a un objetivo de control de calidad. Tal es el caso de la **ISO 16730:2008 Fire Safety Engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods**, que proporciona un marco para el asesoramiento, la verificación y la validación de las metodologías de cálculo utilizadas como herramientas para la Ingeniería de Seguridad contra Incendios. Con este tipo de normas sólo se logra regular la calidad y confiabilidad de los cálculos que se realicen para el diseño de los equipos, pero no se asegura una instalación adecuada¹⁸.

Por otro lado, el ICC en este campo ha creado por su parte el **International Fire Code (IFC)** en donde se encuentran incluidas regulaciones que rigen la salvaguarda de la vida y la propiedad de todo tipo de riesgos de incendio y explosiones. Este código expone temas como precauciones generales contra incendio, planeación y atención de emergencias, hidrantes, rociadores automáticos, sistemas de alarmas, almacenamiento y manipulación de materiales peligrosos y requerimientos de seguridad contra incendios para edificaciones nuevas y existentes.

Sin embargo este código trata todos y cada uno de los temas de una forma muy general e inclusive hace referencia a numerosos estándares en el campo de la seguridad contra incendios, entre las cuales se encuentran algunas de las normas NFPA tales como NFPA 101, NFPA 11, NFPA 13 y NFPA 20 por mencionar algunas. Esto quiere decir que la NFPA tiene reconocimiento mundial y que a pesar de haber tantos organismos de normalización, la NFPA sigue siendo líder en el desarrollo de normas de protección contra incendio.

Por su parte, la IEC ha creado normas como la **IEC 60079-10-1:2008 Explosive Atmospheres – Classification of areas – Explosive atmospheres**, que especifica la clasificación de áreas donde existen riesgos por vapores, gases o nubes inflamables y puedan utilizarse como base de apoyo a la selección e instalación apropiadas de equipo eléctrico que se utiliza en un área peligrosa. Se considera como una norma para ser

aplicada en lugares donde pueda haber peligro de ignición debido a la presencia de vapores o gases inflamables, mezclados con aire bajo condiciones atmosféricas normales. Algunos profesionales consideran esta normativa como una competencia de la **NFPA 70 National Electrical Code**, donde en su artículo 500 habla también de una clasificación de áreas con peligro de explosión, no obstante, si bien el objetivo es el mismo de combatir el riesgo de explosiones, ambas normativas se basan en suposiciones totalmente diferentes para sustentar sus propios requerimientos para la protección¹⁹.

A pesar de tener algunas normas que tratan el tema de protección contra incendios, la IEC es un organismo de reconocimiento mundial que se dedica a desarrollar y publicar normas internacionales para tecnologías relacionadas con electricidad y electrónica, conjuntamente conocidas como electrotecnología. Por lo tanto la IEC no se dedica específicamente a la protección contra incendios y sus normas sólo aplican para equipo eléctrico y electrónico.

A nivel continental, Europa cuenta con el Comité Europeo para la Normalización (CEN) y el Comité Europeo para la Normalización Electrotécnica (CENELEC) que son organismos encargados de unificar las distintas normativas que surgen en los diferentes países que se encuentran en el continente. Es así como surgen las Normas Europeas (EN) que son utilizadas a lo largo y ancho del continente europeo. Este tipo de normativa es una compilación y/o adopción de normas desarrolladas en países tan competitivos como el Reino Unido, Alemania, Francia e incluso España y que al ser revisadas y acopladas a las necesidades del mercado europeo por el CEN o el CENELEC, son instituidas como normas de aplicación en toda Europa. En el continente Americano, aún no se cuenta con organismos que realicen tareas similares a las descritas arriba, por lo tanto es posible asegurar que hace falta establecer sinergias entre los distintos países de América que permitan inclusive aumentar la competitividad en materia de seguridad contra incendio.

La norma **EN 12845:2004 Fixed firefighting systems – Automatic sprinkler systems, design, installation and maintenance** por ejemplo, especifica los requerimientos y proporciona recomendaciones para el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de rociadores fijos contra incendio en edificios y plantas industriales, además de requerimientos particulares de sistemas de rociadores que son integrales para las medidas de protección de

la vida²⁰. Los requerimientos y recomendaciones de esta norma también se pueden aplicar a cualquier adición, extensión, reparación o cualquier otra modificación de un sistema de rociadores. Esta norma tiene su propia metodología de instalación, sin embargo basa gran parte de sus principios de diseño en la NFPA 13 al clasificar las ocupaciones de la misma forma y basar sus cálculos hidráulicos en la misma filosofía de densidades de aplicación.

Hasta el momento sólo se han mencionado algunos organismos que debido al alcance de su jurisdicción, no se pueden comparar directamente con el trabajo que realiza la NFPA en los Estados Unidos de América.

En contraste con el trabajo de la NFPA, el Instituto Británico de Normas (BSI) es un miembro activo y fundador del CEN que ha desarrollado numerosas normas que han sido adoptadas como normas europeas e inclusive como normas internacionales (ISO). BSI hoy en día es un grupo globalizado de organismos que buscan satisfacer el mercado comercial del Reino Unido con normas de todo tipo, no sólo de protección contra incendios.

El BSI desarrolla normas y soluciones de normalización para compensar las necesidades de las empresas y la sociedad británicas en primera instancia, y que se enfocan en mejorar sistemas, aplicaciones y procesos en los negocios, el comercio, la industria y en los sectores público y privado. Es decir, BSI es una organización que no se especializa en el área de la protección contra incendios, si no que abarca diversas áreas lo que le da una desventaja frente al grado de especialización de la NFPA.

En Alemania se encuentra el Instituto Alemán para la Normalización (DIN) que se encarga de desarrollar normas y estándares como servicio para la industria, el gobierno y la sociedad como un todo. Fundado en 1917 como una asociación sin fines de lucro, el DIN tiene como tarea principal la de trabajar de cerca con sus interesados en la materia para desarrollar en consenso, normas que cumplan con los requerimientos del mercado nacional y en el 90% de los casos, el mercado internacional.

El DIN ha desarrollado normas en materia de seguridad contra incendios. Normas que van desde el la formación y actividades de las brigadas para el combate de incendios, hasta el

uso de sistemas fijos para combate de incendios. Sin embargo el área técnica de la industria es la parte más fuerte del instituto donde ha desarrollado normas en el área de la mecánica y la ingeniería de la construcción.

En el continente asiático también se desarrolla normativa en materia de seguridad contra incendios. Japón por ejemplo, mediante la Asociación Japonesa de Normalización desarrolla normas que permiten establecer metodologías de prueba de diferentes materiales en presencia del fuego. Pero en materia específicamente de rociadores contra incendios no ha desarrollado ninguna norma. De hecho, las normas que desarrollan en Japón son normas más generales para los distintos tipos de industria, de ahí que se le conozca como normas JIS (Japanese Industrial Standards).

6.2. LA NFPA Y LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Dos grandes acontecimientos del siglo XIX que surgieron en los Estados Unidos de América dieron origen a la idea de crear una asociación que se dedicara a desarrollar e implementar normas de protección contra incendio: el desarrollo de los rociadores contra incendio y la creación de la bombilla de luz incandescente. Y es que la necesidad de unificar y normalizar las instalaciones de rociadores contra incendio, tecnología que comenzaba a tener éxito en aquel entonces, así como la preocupación por obtener protección y seguridad de vidas humanas en las instalaciones eléctricas que comenzaban a surgir en la época, fueron las dos razones principales que llevaron a un grupo de aproximadamente 20 compañías aseguradoras, de inspección y vigilancia de seguridad contra incendio en procesos industriales a crear la **National Fire Protection Association** como se conoce actualmente.

El problema con las instalaciones de rociadores de la época era que debido al auge que se estaba ganando esta tecnología en la protección contra incendios, las distintas plantas industriales y almacenes comenzaron a instalar sistemas de rociadores sin tener un orden específico o un objetivo técnico definido para la protección de sus instalaciones. De esta manera en la mayoría de las industrias de Estados Unidos podían encontrarse sistemas de rociadores inservibles o que incluso no protegían debidamente las instalaciones.

Por otro lado, las instalaciones eléctricas de la época que carecían totalmente de aislamiento o seguridad en la instalación de sus diversos accesorios, comenzaban a ser focos importantes de ignición y causantes de incendios que se convertían en grandes catástrofes al dejar un número serio de pérdidas humanas y de bienes materiales.

Fue así entonces que en un esfuerzo por mejorar la situación de las instalaciones de rociadores y las eléctricas así como combatir más efectivamente los incendios para evitar más pérdidas humanas y materiales, que el 6 de noviembre de 1896 en la ciudad de Nueva York en una junta encabezada por Uberto C. Crosby, nace la NFPA como una asociación nacional encargada de legislar las actividades de protección contra incendio.

Los objetivos principales por los que se fundó la NFPA fueron los de reunir la amplia experiencia de diferentes sectores y entidades de la seguridad contra incendios para llegar a un entendimiento mutuo, así como generar acuerdos sobre los principios generales que rigieran la protección contra incendios y para armonizar o ajustar las diferencias entre las distintas compañías para poder presentarse ante la opinión pública con regulaciones y condiciones uniformes para apelar su razonamiento técnico²¹.

A pesar de incluir el término Nacional en el nombre de la NFPA desde 1903, cuando representantes de otros países como el Reino Unido, Rusia y Australia se enteraron del surgimiento de esta asociación en los Estados Unidos se unieron como miembros activos, es que la NFPA es reconocida como el ente a nivel mundial que se encarga del desarrollo, la evaluación, y la distribución de normas en materia de protección contra incendio.

En todas y cada una de las normas que la NFPA desarrolla y distribuye en el mundo, deja muy claro desde las primeras páginas, que los objetivos primordiales de la seguridad contra incendios deben ser la salvaguarda de vidas humanas y bienes materiales. Si bien la protección contra incendios desde los años 50 se ha caracterizado por un incremento de la lucha contra incendios activa junto con el avance en materia de prevención, la evolución se ha dado de diferentes formas.

A mitad del siglo XX la preocupación principal para los especialistas en materia de seguridad humana era la de desarrollar más tecnología que cada vez fuera más efectiva para el

combate contra incendios. Posteriormente se buscaba implementar sistemas de protección contra incendios distintos de los que utilizaban agua ya que los riesgos cada vez se volvían más difíciles de controlar y el agua parecía ser insuficiente. Entonces las normas evolucionaron para implementar sistemas de extinción de polvo químico seco, de gases inertes, de halones y hasta sistemas de espuma que en la actualidad son de los más efectivos. La implementación de sistemas de alarma y detección más sofisticados también fue de gran ayuda y actualmente complementan los sistemas de combate de incendios.

Hoy en día la NFPA busca evolucionar una vez más en materia de protección contra incendios. En los E. U. A. por ejemplo, se encuentra en la etapa de implementación de nuevas normas para la protección de viviendas ya que en los últimos años los expertos se han percatado de que del total de incendios registrados en el año 2007, aproximadamente el 26.6% se presentaron en los hogares. Si bien la cantidad de incendios en hogares no fue tan alta comparada con los incendios forestales (aproximadamente el 50% del total), las muertes ocurridas en incendios de viviendas representan el 84% de las muertes totales provocadas por incendios y las pérdidas materiales en incendios habitacionales ascendieron a 7, 546 millones de dólares (51.5% del total)²². Por lo tanto, la protección en viviendas de los Estados Unidos es la prioridad en estos momentos para la mejora continua que busca la NFPA.

En América Latina por otra parte, se enfoca un poco más en la concientización de los usuarios y dueños de los inmuebles a proteger sus instalaciones ya que en muchos países aún no mejora la situación de los desastres por incendio a pesar de que ya hay normas y recomendaciones que se encuentran disponibles para implementación. Es un hecho que la mayoría de los códigos constructivos de la región tienen muy pocos requerimientos en seguridad contra incendios. Pero la realidad nos dice que existe un extenso y creciente mercado de seguridad contra incendios en Latinoamérica. La solución entonces no es crear más regulaciones. Una efectiva y eficiente seguridad contra incendios no se puede obtener por decreto. Se obtiene cuando el usuario entiende que la seguridad contra incendios es importante y que solo compañías especializadas son las idóneas para diseñar, instalar y dar mantenimiento a sistemas de protección contra incendios²³.

La experiencia en situaciones de protección contra incendios con que cuenta la NFPA así como la contribución continua que hace en el mundo para mejorar las técnicas de protección son dos atributos indiscutibles. La NFPA desarrolla, publica y distribuye más de 300 códigos y normas encaminados a minimizar los efectos que producen y las posibilidades de que ocurran incendios y otros riesgos. Además, cuenta más de 81,000 personas de más de 100 naciones alrededor del mundo y más 80 organizaciones profesionales y de comercio nacional como miembros activos, lo que obliga que la NFPA tenga un alto compromiso con la sociedad y una gran aceptación en el mundo.

Pero la NFPA no solo desarrolla normas y códigos para luchar contra un enemigo constante como lo es el fuego. A través de diversas actividades a lo largo del año, ofrece educación sobre seguridad y prevención contra incendio en la sociedad americana a través de eventos en conjunto con autoridades de seguridad, de programas en las escuelas de educación básica y de la producción y distribución de materiales sobre educación de seguridad que incluyen carteles, folletos, trípticos y videos.

La NFPA también ofrece oportunidades de desarrollo profesional a través de sus distintos seminarios, programas de certificación y de entrenamiento, conferencias y exposiciones de talla internacional que organiza en distintos puntos del mundo impartidos por verdaderos expertos en la materia y facilitando el acceso a los requerimientos sobre seguridad humana y contra incendios, las tecnologías y las prácticas más actuales.

Adicionalmente a esto, la NFPA es la principal fuente de datos estadísticos, investigación y análisis sobre incendios. El departamento de Investigación y Estadísticas sobre Incendios de la NFPA por ejemplo, realiza un número amplio de reportes anuales y estudios especializados en todos los aspectos del problema incendiario en los Estados Unidos. Además la NFPA realiza investigaciones de incidentes con incendios que son de interés técnico para sus altos mandos y comités técnicos.

A lo largo de este capítulo fue posible observar que alrededor del mundo existen muchas y muy diferentes organizaciones dedicadas a desarrollar normatividad en materia de seguridad contra incendios de la misma forma que sucede en México. Sin embargo, el alto grado de

especialización de algunas normas que se desarrollan en países determinados como el Reino Unido y Estado Unidos de América, estimula que dicha normativa sea utilizada como referencia por la legislación local mexicana. En especial, la influencia norteamericana tanto de productos como de servicios, provoca que en México se prefiera utilizar normas ASME, ASTM y NFPA en lugar de normas de BSI, DIN o JIS.

7. NFPA 13 – INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE ROCIADORES

Los sistemas de rociadores automáticos que se encuentran debidamente instalados y cuentan con un mantenimiento apropiado ayudan a salvar vidas. Debido a su capacidad de reacción tan rápida, los rociadores pueden reducir de manera formidable el calor, las llamas y el humo producidos en un incendio. Los rociadores contra incendio se han utilizado alrededor del mundo por más de cien años protegiendo instalaciones comerciales e industriales y edificios públicos, así como también hoteles, hospitales y edificios de gran altura. Lo que la mayoría de la gente desconoce o ignora, es que la misma tecnología para salvar vidas que protege este tipo de construcciones, se encuentra disponible para proteger los hogares donde, al menos en los Estados Unidos de América, ocurren el 80 por ciento de las muertes ocasionadas por incendio.

En México es posible observar dos problemas principales al momento de analizar el estado en que se encuentra la tecnología de los rociadores: uno (1), es la falta de una normativa que sea realmente efectiva al momento de establecer sus requerimientos de construcción y que deja a esta tecnología en el olvido en el instante en que sólo la menciona como un criterio opcional del diseñador al gestionar la seguridad contra incendios; y dos (2), la falta de consciencia que existe tanto en usuarios como en propietarios y diseñadores sobre la importancia que la seguridad contra incendios tiene en todo proyecto de construcción. La buena noticia es que existe normatividad internacional que ayuda a mejorar los proyectos de ingeniería en el aspecto de la seguridad contra incendio, así como también organismos e instituciones que se dan a la tarea de combatir dicha carencia de consciencia respecto al problema de los incendios.

La norma NFPA 13 para la instalación de sistemas de rociadores automáticos contra incendio, por ejemplo, busca ser una fuente de concientización promoviendo un grado razonable de protección contra incendio a la vida y a los inmuebles por medio de estandarizar requerimientos de diseño e instalación de sistemas de rociadores tomando como base principios técnicos de ingeniería que sean confiables y reconocidos a nivel mundial, datos de pruebas efectuadas en laboratorios especializados en la materia y las diversas experiencias en campo que los especialistas en el área compartan con la sociedad.

La NFPA 13 representa si no el documento más completo, seguramente el más versátil en materia de la instalación de rociadores automáticos contra incendio. A lo largo de sus veinticuatro capítulos expone de manera concreta los requerimientos técnicos mínimos para llevar a cabo un diseño efectivo para combatir incendios así como una buena instalación de los accesorios, aditamentos o diferentes componentes con que cuenta un sistema de rociadores automáticos contra incendio. Establece la metodología técnica para ofrecer protección tanto en edificios con diferentes ocupaciones, así como de estructuras para el almacenamiento de diversos artículos o productos.

Inclusive contiene un capítulo reservado a la aplicación de la tecnología de rociadores en instalaciones marinas. Menciona de igual manera requisitos y metodología para pruebas de aceptación de instalaciones nuevas o modificaciones de instalaciones existentes de rociadores automáticos. La norma NFPA 13 es un documento de reconocimiento internacional que estructuralmente se compone como se muestra en la tabla 7.1:

Tabla 7.1. Contenido de la norma NFPA 13, Ed. 2007

CAP.	TÍTULO	CAP.	TÍTULO
1	Administración	14	Protección de Mercancía Clases I a IV almacenada en tarimas, apilada, en cajas o anaqueles
2	Publicaciones de Referencia	15	Protección de Mercancía Plástica y de Caucho almacenada en tarimas, apilada, en cajas o anaqueles
3	Definiciones	16	Protección de Mercancía Clases I a IV almacenada en racks
4	Requerimientos Generales	17	Protección de Mercancía Plástica y de Caucho almacenada en racks
5	Clasificación de Ocupaciones y Mercancías	18	Protección de almacenamiento de Neumáticos de Caucho
6	Componentes del Sistema y Periféricos	19	Protección de almacenamiento de Papel en Rollos
7	Requerimientos del Sistema	20	Diseños Especiales para Protección de Almacenamiento
8	Requerimientos de Instalación	21	Requerimientos para Ocupaciones Especiales
9	Suspensión, Soportería y Contención de Tuberías	22	Planos y Cálculos
10	Tubería enterrada	23	Fuentes de Suministro de Agua
11	Enfoques del Diseño	24	Aceptación del Sistema
12	Requerimientos Generales para el Almacenamiento	25	Sistemas Marinos
13	Almacenamiento Misceláneo	26	Inspección, Prueba y Mantenimiento del Sistema

Fuente: NFPA 13, Norma para la instalación de Sistemas de Rociadores, Ed. 2007

Al igual que en todas las normas NFPA, el capítulo **1** de la NFPA 13 contiene información importante sobre la metodología de lectura y expone de manera concreta el alcance, el propósito y la aplicación de la norma.

En el capítulo **2** se mencionan todas las publicaciones de referencia que fueron utilizadas, mencionadas o citadas a lo largo del desarrollo de la norma. Publicaciones de referencia tales como otras normas o documentos de la NFPA, normas, especificaciones y metodologías de prueba de otras instituciones como: Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), Instituto Americano de Normas Nacionales (ANSI), Sociedad Americana de Materiales y Pruebas (ASTM), Asociación Americana de Trabajos con Agua (AWWA), Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), Laboratorios de Aseguradores (UL); y documentos de organismos gubernamentales de los Estados Unidos de América, son ejemplos de dichas publicaciones.

Otro capítulo que tienen en común las normas NFPA es el capítulo **3** donde se establecen las definiciones sobre la terminología del tipo técnica que se utilizará a lo largo del documento. De esta manera logran unificar o estandarizar las definiciones y evitan conceptualizar de manera errónea la terminología técnica que se utiliza. Conceptos tales como *sistema de rociadores*, *rociador*, *ocupación*, *aprobado*, *listado*, *techo*, *control del fuego*, *extinción del fuego*, etc., pueden encontrarse aquí.

Son tres los conceptos más relevantes en esta sección. La **Autoridad Competente** se refiere a una organización, oficina o persona responsable de hacer cumplir las disposiciones de un código o norma, o para la aprobación del equipo, los materiales, una instalación o un procedimiento. Un equipo, material o servicio **Listado**, es aquel que se encuentre incluido en una lista publicada por una organización aceptable para la autoridad competente y dedicada a la evaluación de productos y servicios, que mantiene una inspección periódica de la fabricación de los materiales o productos o una evaluación periódica de los servicios, y cuyo enlistado declara que el equipo, material o servicio cumple con los estándares correspondientes designados o ha sido probado y considerado adecuado para un determinado propósito. Cuando la norma se refiere a un equipo, material o servicio **Aprobado**, significa que es aceptable para la autoridad competente.

En los capítulos del **4** al **10**, se establecen todas las exigencias generales que deben cumplir los sistemas de rociadores contra incendios. Se establecen los requerimientos de instalación, aprobación, especificación de materiales y de características de operación de todos y cada uno de los componentes y accesorios del sistema que van desde tubería, válvulas y manómetros hasta soportería, conexiones para bomberos y sistemas auxiliares de mangueras.

Los requerimientos mínimos que deben de considerarse al realizar el diseño de un sistema de rociadores, así como las exigencias de la NFPA 13 en cuanto a los cálculos y la elaboración de los planos de diseño y demás documentación correspondiente al diseño de estos sistemas contra incendios, se encuentran establecidos en los capítulos del **11** al **22**. Es importante hacer notar que de los capítulos **11** al **13** se establece específicamente la filosofía de protección contra incendios en general para todas las clasificaciones de riesgos. En los capítulos del **14** al **17**, se tratan los temas relacionados con la protección de riesgos específicos de almacenamiento dependiendo de la metodología de empaque, es decir, si el almacenamiento se realiza en estibas o en tarimas o en racks o en estantes, etc. siguiendo un orden de acuerdo a las clasificaciones de riesgos que establece. Del capítulo **18** al capítulo **20** se tratan los métodos de protección de riesgos altamente peligrosos tales como el almacenamiento de llantas, de papel en rollos, almacenes de autopartes de plástico, almacenes de productos de plástico en tiendas misceláneas y almacenamiento de algodón en pacas. El capítulo **21** trata los requerimientos relacionados con riesgos de ocupaciones especiales donde se establecen las exigencias mínimas conforme a otras normas NFPA si es necesario. En este capítulo se hace mención a riesgos tales como Plantas de Extracción de Solventes, Plantas de Gas Natural Licuado, Protección para Hornos y Calderas, Hangares y Plantas Generadoras de Energía Eléctrica, sólo por mencionar algunos ejemplos. Y en el capítulo **22** es donde se encuentran los lineamientos para la elaboración de cálculos para el diseño de sistemas de rociadores, y la información que deben contener las hojas de cálculo, planos de trabajo, diseño y demás especificaciones de los accesorios que se utilizarán.

El capítulo **23** menciona solamente los métodos de suministro de agua y establece algunos criterios de selección y requisitos para diseñar el sistema de abastecimiento conforme a otras normas NFPA. En el capítulo **24** se encuentran establecidos las exigencias que deben inspeccionarse para la aceptación y puesta en marcha de sistemas ya instalados, así como los procedimientos de algunas pruebas de aceptación. El capítulo **25** se refiere de manera específica para sistemas marinos, es decir, sistemas que se utilizarán en instalaciones marinas y que para su operación utilizan agua de mar. Y por último el capítulo **26** se refiere a algunos requerimientos de las tareas inspección, prueba y mantenimiento que deben ejecutarse a la instalación cuando el sistema se encuentra en operación²⁴.

7.1. TIPOS DE SISTEMAS DE ROCIADORES

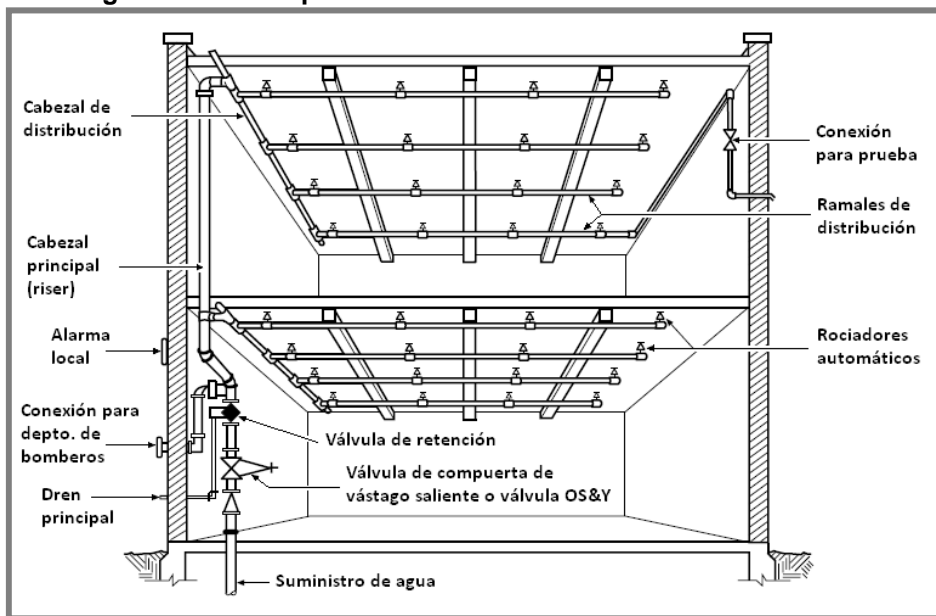
Un sistema de rociadores para protección contra incendios, es una red de tuberías interconectadas entre sí y cuyo arreglo constructivo, permite conducir agua hasta un área determinada donde se origina un incendio. Para ello, las boquillas aspersoras o rociadores se conectan a dicha red de tuberías, siendo estos ubicados de forma estratégica para proteger una determinada área, ya que son los dispositivos encargados de descargar agua con un patrón geométrico tal, que sean capaces de extinguir el fuego.

Estos sistemas están diseñados para operar de forma automática, por lo que sólo utilizan dos tipos de válvulas para controlar el flujo de agua a través de las tuberías: utilizan una válvula automática que en términos generales es una válvula de retención que, dependiendo del tipo de sistema puede ser muy sofisticada; y una válvula de corte que se utiliza solamente para cerrar el suministro de agua hacia el sistema, ésta puede ser una válvula de compuerta o de mariposa pero, sólo del tipo indicadora. De forma general, un sistema de rociadores está formado por tres componentes básicos: las boquillas aspersoras, las tuberías y las válvulas.

Los Sistemas de Rociadores Automáticos son considerados como el método más efectivo y económico para extinguir un fuego. Existen básicamente 4 tipos de sistemas de rociadores automáticos de acuerdo a su funcionamiento tal y como los define la NFPA 13: de tubería húmeda, de tubería seca, de diluvio y de preacción.

El **Sistema de Tubería Húmeda** es el más común de todos los sistemas que existen, el más sencillo de diseñar e instalar. Éste consiste en una red de tuberías que contienen agua bajo presión. Los rociadores automáticos se conectan a la tubería de manera que cada rociador protege un área del edificio asignada. La constante aplicación de calor a cualquiera de los rociadores instalados causará la operación de uno sólo, permitiendo la descarga de agua sobre su área de protección. La figura 7.1.1 muestra a continuación, las partes principales que conforman un sistema de rociadores de tubería húmeda.

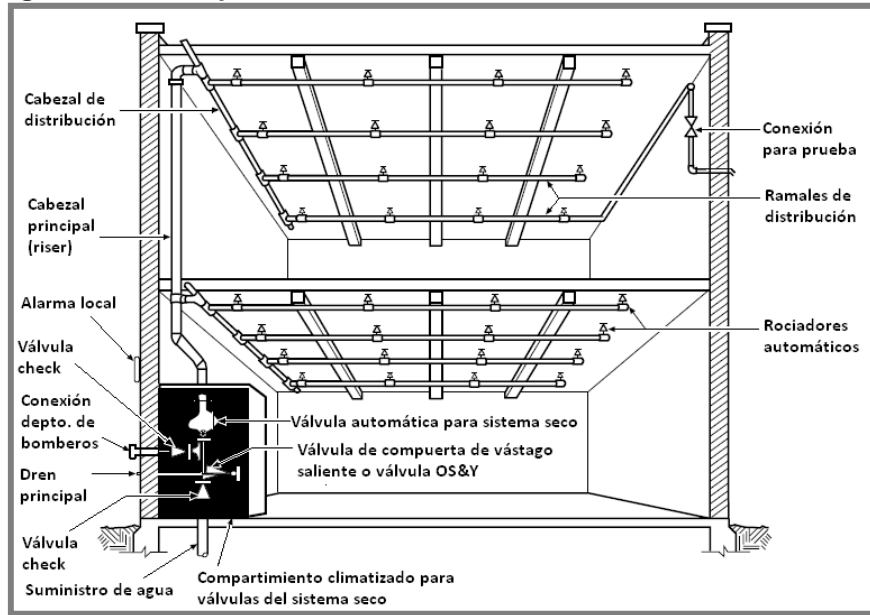
Figura 7.1.1. Componentes de Sistema Húmedo de Rociadores



Fuente: *Fire Protection Handbook*, NFPA

Un **Sistema de Tubería Seca** es similar a un sistema húmedo, con la excepción de que el agua se mantiene bajo presión antes del punto de alimentación a la red de tubería por medio de una válvula automática, es decir, la red de distribución se encuentra seca. La válvula automática se conserva cerrada mediante aire o nitrógeno, que se mantienen presurizados dentro de las tuberías. La operación de uno o más de los rociadores, permitirá que el aire presurizado escape causando la apertura de dicha válvula, la cual entonces permitirá el flujo de agua a través de la tubería hasta el lugar del incendio para extinguirlo. Los Sistemas de Tubería Seca son utilizados comúnmente en lugares donde existe riesgo de congelación del agua, debido a temperaturas ambientales muy bajas. La figura 7.1.2 muestra los componentes de un sistema seco de rociadores:

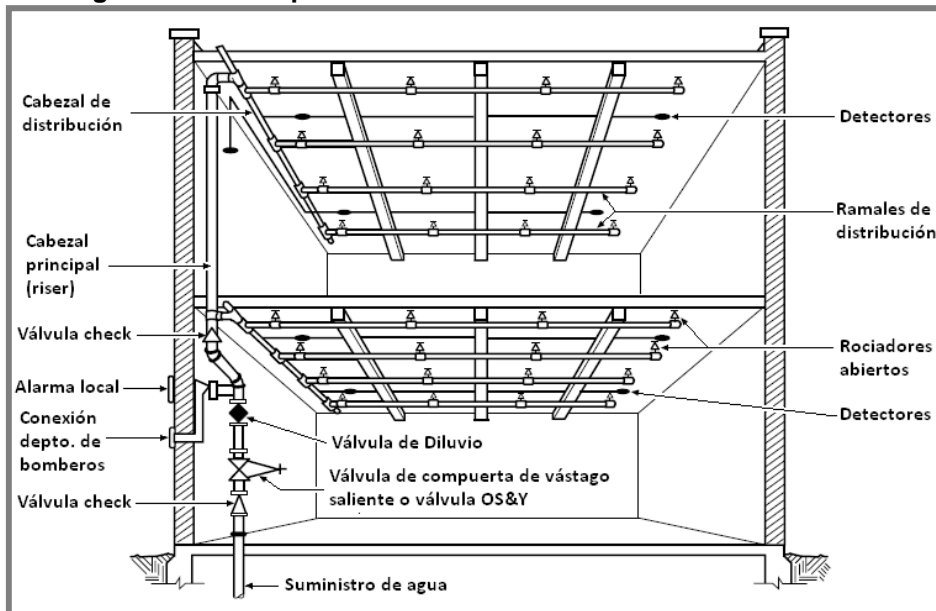
Figura 7.1.2. Componentes de Sistema de Rociadores de Tubería Seca



Fuente: *Fire Protection Handbook*, NFPA

El **Sistema de Diluvio**, es aquel que no utiliza rociadores automáticos cerrados sino boquillas aspersoras abiertas. La diferencia es que los rociadores tienen un sello hermético que se abre sólo cuando el elemento fusible se rompe y las boquillas permanecen abiertas todo el tiempo, es decir, la tubería se encuentra vacía y en contacto con el aire del ambiente en todo momento y, sólo ingresa agua a las tuberías cuando el sistema es activado. La figura 7.1.3, muestra los componentes de un sistema de diluvio.

Figura 7.1.3. Componentes de Sistema de Rociadores de Diluvio

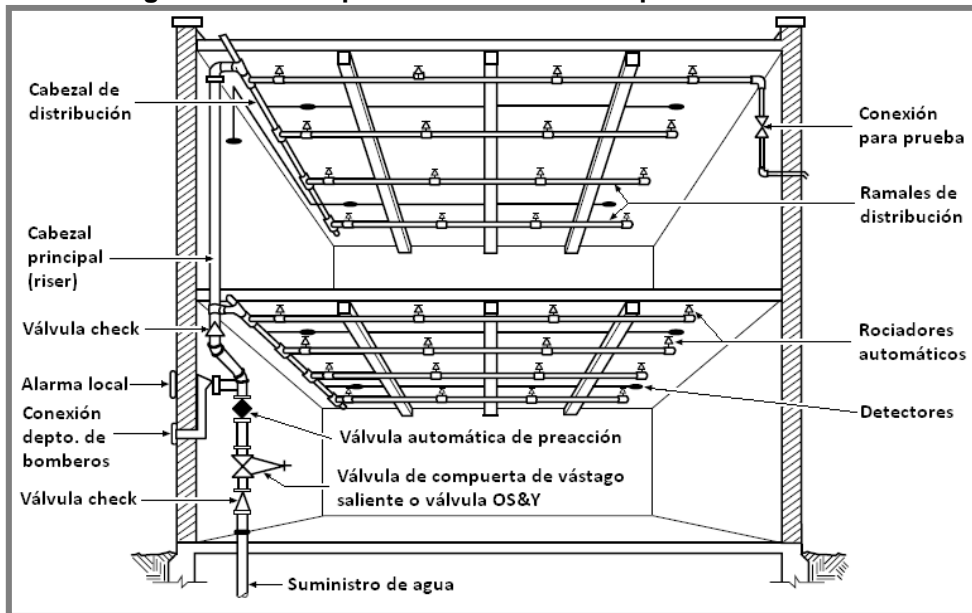


Fuente: *Fire Protection Handbook*, NFPA

Una válvula especial llamada **Válvula de Diluvio**, mantiene el agua que se encuentra bajo presión, antes de la red de tuberías que distribuyen el agua. Dicha válvula es activada automáticamente mediante de un sistema de detección instalado aparte de los rociadores, o bien, de manera manual remota desde algún tablero de control. El sistema de detección, puede ser un sistema a base de detectores de humo, calor o fuego. Cuando el sistema se activa, la válvula de diluvio permite la admisión del agua en la red de tuberías, para que fluya simultáneamente a través de todas las boquillas aspersoras. Los Sistemas de Diluvio se utilizan comúnmente para protección de áreas, contra incendios de gran velocidad de propagación y, para áreas o lugares que presenten alto riesgo de incendio.

Existen otros tipos de sistemas que también se les puede considerar como de diluvio. Se les conoce comúnmente como **Sistemas de Aspersión de Agua**. Sin embargo, sus objetivos de diseño y de protección son diferentes a los sistemas de rociadores, ya que los primeros protegen contra incendios tridimensionales, mientras que los sistemas de rociadores funcionan específicamente para incendios bidimensionales.

Figura 7.1.4. Componentes de Sistema Típico de Preacción



Fuente: *Fire Protection Handbook*, NFPA

Un **Sistema de Preacción** es similar a un sistema de diluvio con la excepción de que utiliza boquillas cerradas, y usualmente se utiliza una cantidad pequeña de aire a presión para asegurar hermeticidad. Al igual que un sistema de diluvio, el sistema se activa por medio de

un sistema separado de detección de incendios que activa la válvula de diluvio y permite la admisión de agua en la tubería. Sin embargo, el agua se mantiene dentro de la tubería debido a los rociadores cerrados hasta que uno o varios de ellos se activen debido a la aplicación constante de calor. Usualmente los sistemas de preacción se utilizan donde existe especial preocupación por descargas accidentales de agua, tal como en áreas de cómputo de gran valor²⁵. La figura 7.1.4, muestra los componentes principales de un sistema de preacción típico.

Estos cuatro tipos básicos de sistemas de rociadores deben su clasificación a las diferencias que presentan en el aspecto fundamental de cómo se aplica el agua en el área incendiada. Pueden existir otros tipos de sistemas que deben su clasificación a aspectos diferentes tales como el riesgo que protegen (residenciales, para almacenamiento, para protección contra exposición al fuego), los aditivos que se agregan al sistema (anticongelante o espuma), o conexiones especiales al sistema (tubería multipropósito). Sin embargo, todos los sistemas de rociadores pueden ser categorizados dentro de alguno de los cuatro sistemas básicos.

7.2. LA CLASIFICACIÓN DE RIESGOS EN OCUPACIONES Y ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍAS

En la protección contra incendios es importante primero definir riesgos, identificarlos y clasificarlos antes de proporcionar protección alguna. Es por ello que la NFPA 13 dedica su capítulo 5 enteramente para definir y clasificar los distintos riesgos que están presentes en las ocupaciones que pueden tener los edificios así como los diversos artículos de comercio o mercancías que contienen los almacenes.

La **ocupación** se refiere al uso destinado de una edificación o parte de ésta que sirve como soporte o refugio para los seres humanos, animales o la propiedad. Así una edificación puede tener una o varias ocupaciones dependiendo del uso que tenga cada una de sus partes. Por su parte, la **mercancía** se refiere a la combinación de productos, material de empaque y contenedor que determina la clasificación de la mercancía. Por ejemplo, un almacén de producto terminado determina su clasificación no sólo por los materiales de los que se encuentra elaborado dicho producto, sino que también contribuye el tipo de empaquetado en el que se encuentra y el contenedor que se utiliza para ser almacenado.

El **tipo de empaque** puede ser diverso y puede ir desde botes de plástico hasta simples bolsas de plástico (generalmente de polietileno u otro polímero) o costales de rafia. Existe incluso el *encapsulado* que es un **método de empaquetado** de artículos que consiste en envolver completamente con plástico la carga de una tarima, que contiene alguna mercancía combustible o paquete combustible o conjunto de mercancías combustibles o paquetes combustibles. Los contenedores pueden ser cajas de cartón, pallets (tarimas) de madera o plástico, contenedores de metal o plástico, etc.

Por otro lado, existen algunos factores que deben tomarse en cuenta para poder clasificar ocupaciones o mercancías: la combustibilidad del material, el índice de liberación de calor, la cantidad de líquidos combustibles y/o inflamables, condiciones particulares que propicien un incendio.

La **combustibilidad** es una medida de la facilidad con la que un material o sustancia logra quemarse en presencia del fuego.

El **índice de liberación de calor** es una medida de la rapidez con que se libera energía en forma de calor en un incendio y tiene unidades de energía sobre tiempo [Jules/segundo] o más comúnmente [Watt]²⁶.

La **cantidad de líquidos combustibles y/o inflamables** que contiene una ocupación también es considerada un factor para definir su clasificación ya que el riesgo de que se presente un incendio aumenta conforme aumenta la cantidad de éstos.

La **presencia de polvos o pelusas** también aumenta el riesgo de incendio de una ocupación al incrementar la velocidad con que se propaga el incendio cuando éste se presenta.

Otro factor que debe considerarse en la clasificación de una ocupación es la(s) **actividad(es)** que se realiza(n) en la misma, ya que actividades como soldar o fundir metales, presentan mayor riesgo de incendio en comparación con actividades propias de una oficina o labores del hogar. También se debe considerar la **forma** en la que una

actividad se realiza. Por ejemplo, existe mayor riesgo al soldar metales con flama de gas acetileno en comparación con soldar metales usando un arco eléctrico bajo las mismas condiciones ambientales.

La clasificación de las ocupaciones y mercancías permite definir la metodología más adecuada para diseñar e instalar sistemas de rociadores automáticos contra incendios que sean efectivos, tomando como base los diversos requerimientos de diseño e instalación que las normas en la materia especifican para cada caso.

La NFPA 13 propone la siguiente clasificación de ocupaciones, sin intentar imponer una clasificación general o única de los riesgos de ocupaciones, basada en la combustibilidad del contenido de la edificación, en los índices de liberación de calor, la cantidad de líquidos inflamables y/o combustibles y la velocidad de propagación del incendio:

- 1) Ocupaciones de Riesgo Ligero.** Son aquellas ocupaciones o porciones de otras ocupaciones donde la cantidad y/o la combustibilidad de su contenido es bajo y se espera que presenten fuegos con índice de liberación de calor relativamente bajo. Este tipo de ocupaciones incluyen aquellas que presenten usos y condiciones similares a las siguientes: albergues de animales, clubes, iglesias, cornisas y voladizos (si son de materiales de construcción combustibles, sin materiales combustibles debajo), centros educativos, hospitales (incluyendo hospitales para animales y veterinarias), manicomios , perreras, bibliotecas (excepto los salones de estanterías grandes), museos, asilos , oficinas (incluyendo salas de captura), residencias, áreas de comedor de restaurantes, teatros y auditorios (excluyendo los escenarios y proscenios) y desvanes abandonados.

- 2) Ocupaciones de Riesgo Ordinario Grupo 1.** Son aquellas ocupaciones o porciones de otras ocupaciones donde la combustibilidad es baja, la cantidad de combustibles es moderada, los almacenes de combustibles no exceden 2.4 m de altura, y se espera que presenten fuegos con índice de liberación de calor moderado. En estas ocupaciones se incluyen aquellas que presentan usos y condiciones similares a las siguientes: estacionamientos y salas de exhibición de automóviles, panaderías y pastelerías, elaboración de bebidas, fábricas de conservas, elaboración y

procesamiento de lácteos, plantas electrónicas, elaboración de vidrio y productos de vidrio, lavanderías y áreas de servicio de restaurantes.

- 3) Ocupaciones de Riesgo Ordinario Grupo 2.** Son aquellas ocupaciones o porciones de otras ocupaciones donde la cantidad y la combustibilidad de su contenido va de moderado a alto, donde el almacenamiento de contenido con índices de liberación de calor moderado no excede 3.66 m de altura y el almacenamiento de contenido con índice de liberación de calor alto no excede los 2.4 m de altura. En estas ocupaciones se incluyen aquellas que presenten usos y condiciones similares a las siguientes: instalaciones agropecuarias, graneros y establos, molinos de cereales, plantas químicas (ordinarias), productos de confitería, destilerías, tintorerías, andenes exteriores de carga, molinos de forraje, establos para caballos, elaboración de productos de cuero, bibliotecas (salones de estanterías grandes), talleres de maquinaria, trabajos con metales, establecimientos mercantiles, molinos de papel y pulpa, plantas de procesamiento de papel, muelles y embarcaderos, oficinas postales, publicación e imprentas, áreas de caballerizas/perreras de hipódromos (incluyendo graneros y edificios asociados en las ferias locales), talleres mecánicos, áreas de aplicación de resinas, escenarios, manufactura textil, manufactura de neumáticos, elaboración de productos de tabaco, maquinado de madera y ensamblaje de productos de madera.
- 4) Ocupaciones de Riesgo Extra Grupo 1.** Son aquellas ocupaciones o porciones de otras ocupaciones donde la cantidad y la combustibilidad de su contenido es muy alta y se encuentran presentes pelusas, polvos u otros materiales que aumentan la probabilidad de presentar incendios que se desarrollan rápidamente con índices de liberación de calor altos pero con pocos o sin líquidos combustibles o inflamables. Estas ocupaciones incluyen aquellas que presentan usos y condiciones similares a las siguientes: hangares para aeronaves (excepto los incluidos en la NFPA 409), áreas de uso de fluidos hidráulicos combustibles, fundición, extrusión de metales, fabricación de madera laminada y aglomerados, imprentas (que utilicen tintas con puntos de inflamación por debajo de los 38° C), recuperación, composición, secado, triturado y vulcanizado de goma, aserraderos, recolección, apertura, mezclado,

reciclado, cardado y combinado de algodón, fibras sintéticas, lana o arpillera, y tapizados con espumas plásticas.

- 5) Ocupaciones de Riesgo Extra Grupo 2.** Son aquellas ocupaciones o porciones de otras ocupaciones que contienen líquidos inflamables o combustibles en cantidades de moderadas a considerables o aquellas donde la protección de los combustibles es extensa. Estas ocupaciones incluyen aquellas que presentan usos y condiciones similares a las siguientes: saturación de asfaltos, aspersión de líquidos inflamables, recubrimiento fluido, casas prefabricadas y ensambles modulares de edificios (cuando exista un cercado terminado y cuente con interiores combustibles), templado de metales en tina abierta con aceites, procesamiento de plásticos, limpieza con solventes, barnizado y pintado por inmersión.

Las mercancías tienen su propia clasificación de acuerdo a la norma NFPA 13. Considerando los mismos factores que propician los distintos riesgos de incendio para clasificar las ocupaciones, pero ahora aplicados para el almacenamiento de las mercancías, la clasificación de NFPA 13 para las mercancías se encuentra como sigue:

- 1) Clase I.** Las mercancías de Clase I son aquellas definidas como productos no combustibles que cumplen con alguno de los criterios siguientes:
 - a. Colocados directamente sobre tarimas de madera.
 - b. Colocados en cajas de cartón corrugado de una sola capa, con o sin divisores de cartón delgado, con o sin tarimas.
 - c. Envueltos en plástico o papel como unidad de carga con o sin tarimas.
- 2) Clase II.** Las mercancías de Clase II son aquellas definidas como productos no combustibles contenidos en cajas de tablillas de madera (huacales de madera), cajones de madera, cajas de cartón corrugado multicapa o materiales de empaque combustibles equivalentes a los anteriores, con o sin tarimas.
- 3) Clase III.** Las mercancías de Clase III son aquellas definidas como productos elaboradas con madera, papel, fibras naturales o plásticos del Grupo C, con o sin cajas de cartón, huacales de madera, cajones de madera, y con o sin tarimas. Es

permitido que una mercancía de Clase III contenga solo una cantidad limitada de plásticos del Grupo A o B (5% en peso o volumen).

- 4) Clase IV.** Las mercancías de Clase IV son aquellas definidas como productos, con o sin tarimas, que cumplen alguno de los criterios siguientes:
- a. Construidos parcial o totalmente con plásticos del Grupo B.
 - b. Consistentes de plásticos del Grupo A en forma de pellets, hojuelas, polvo o de tamaño pequeño.
 - c. Contienen en sí mismos o en su empaçado, una apreciable cantidad de plásticos del Grupo A (del 5 al 15% en peso o del 5 al 25% en volumen).
 - d. Se permiten materiales sobrantes de metal, madera, fibras naturales o sintéticas o plásticos del Grupo B.

Los Grupos A, B y C de plásticos a los que se refiere la clasificación anterior se mencionan a continuación para tener un mejor panorama de la misma, enunciando sólo algunos ejemplos representativos de cada grupo:

- 1) Grupo A.** Los siguientes materiales son ejemplos de plásticos del grupo A: ABS (copolímero de acrilonitrilo-butadieno-estireno), Acetal (poliformaldehído), Acrílico (polimetil metacrilato), Goma de butilo, EPDM (goma de etilen-propileno), FRP (poliéster reforzado con fibra de vidrio), Goma natural (expandida), Goma de nitrilo (goma de acrilonitrilo butadieno), PET (poliéster termoplástico), Polibutadieno, Policarbonato, Poliéster elastomérico, Polietileno, Polipropileno, Poliestireno, Poliuretano, PVC (cloruro de polivinilo - altamente plastificado, con contenido plastificante mayor al 20%), SAN (estireno acrilonitrilo), SBR (goma de estireno butadieno).
- 2) Grupo B.** Los siguientes materiales son ejemplos de plásticos del grupo B: Celulósicos (acetato de celulosa, acetato butirato de celulosa, etil celulosa), Goma de cloropreno, Fluoroplásticos (ECTFE - copolímero de etilenclorotrifluoroetileno; ETFE - copolímero de etilentetrafluoroetileno; FEP - copolímero fluorado de etilenpropileno), Goma natural (sin expandir), Nylon (nylon 6, nylon 6/6), Goma de silicón.

3) Grupo C. Los siguientes materiales son ejemplos de plásticos del grupo C: Fluoroplásticos (PCTFE - policlorotrifluoroetileno; PTFE - politetrafluoroetileno), Melamina (formaldehído de melamina), Fenólicos, PVC (cloruro de polivinilo – flexible – con contenido plastificante de hasta 20%), PVDC (cloruro de polivinilideno), PVDF (fluoruro de polivinilideno), PVF (fluoruro de polivinilo), Urea (formaldehído de urea).

En la clasificación de las mercancías se encuentra considerado el uso de tarimas de madera o metal. Sin embargo para las tarimas de plástico, la situación es diferente ya que dependiendo del tipo, incrementará la clasificación de una mercancía.

Cuando se utilicen tarimas de polipropileno o polietileno de alta densidad sin refuerzo para almacenar la mercancía, la clasificación de ésta deberá incrementarse una clase. Por ejemplo, la mercancía de clase III se convertirá en mercancía de clase IV, y la clase IV se considerará como plásticos no expandidos del Grupo A almacenados en cajas de cartón.

Cuando se utilicen tarimas de polipropileno o polietileno de alta densidad reforzados, la clasificación de la mercancía deberá incrementarse dos clases con excepción de la mercancía Clase IV, la cual se considerará como plásticos no expandidos del Grupo A almacenados en cajas de cartón. Por ejemplo, la mercancía de Clase II se convertirá en mercancía de Clase IV, y la Clase III y Clase IV se considerarán como plásticos no expandidos del Grupo A almacenados en cajas de cartón.

El objetivo de realizar primeramente una clasificación de los riesgos, es que posteriormente sea más sencillo delimitar los alcances de cada uno de los requerimientos que las normas solicitan cumplir y de esta manera también delimitar, identificar y aplicar de manera adecuada los distintos criterios que se necesitan para diseñar sistemas de rociadores automáticos y en general, cualquier sistema de protección contra incendios.

7.3. COMPONENTES DEL SISTEMA

Los sistemas de protección contra incendios a base de agua y espuma en general constan de 3 secciones principales: la fuente de suministro de agua, la red de tuberías y el dispositivo aspersor de agua. Los sistemas de rociadores automáticos contra incendios no

son la excepción, sólo difieren un poco en los componentes dependiendo del tipo de sistema que se trate.

Para que un sistema de rociadores automáticos funcione adecuadamente, es necesario suministrarle agua mediante alguna fuente que sea confiable, de buena calidad, siempre disponible y que sea suficiente para cubrir las necesidades de agua del riesgo que protege durante el tiempo que sea requerido por la norma.

Existen diversas **fuentes de suministro** de agua para los sistemas de protección contra incendios. La fuente de suministro puede ser un lago, una laguna, un río, un pozo, la red pública de suministro de agua, un sistema de bombeo o si es muy necesario hasta un tanque de almacenamiento que se haya construido especialmente para este objetivo. La NFPA 13 sólo menciona que para seleccionar una fuente de suministro de agua se debe poner especial cuidado en que ésta cumpla con las siguientes restricciones: que posea la capacidad suficiente para suministrar el flujo máximo de agua a la presión y con la duración de tiempo que sean requeridos y además que contenga agua de una calidad adecuada para evitar la corrosión ya sea microbiológica o fisicoquímica.

La NFPA 22 *Norma para Tanques de Almacenamiento de Agua para Protección Privada contra Incendios* es el documento dedicado a establecer los lineamientos para el diseño, la construcción y la instalación de tanques de almacenamiento de agua, cuando sea necesario que la instalación cuente con una fuente de suministro de agua específica para el servicio contra incendios. De la misma forma la NFPA 20 *Norma para la Instalación de Bombas Estacionarias para Protección contra Incendios* es la norma que establece los requerimientos necesarios en caso de que la edificación a proteger necesite de un sistema de bombeo para suministrar el flujo y la presión requeridos por el riesgo.

Por otra parte, el sistema de rociadores requiere de una **red de tuberías** para transportar el líquido desde la fuente de suministro hasta el área del incendio en cantidades y condiciones de presión específicas de acuerdo con el riesgo que se desea proteger. El dimensionamiento de la red, es decir, el diámetro de las tuberías debe especificarse por medio de cálculos hidráulicos. Los cálculos permiten al diseñador identificar los puntos más vulnerables de la

red, los puntos donde hace falta cantidad de agua y los tramos de tubería donde se encuentran las caídas de presión considerables.

La diversidad de materiales que se pueden utilizar para instalar tuberías para redes contra incendios es muy grande. La selección de los materiales debe ser cuidadosa al momento de diseñar redes ya que debe asegurarse que el material del que está hecha la tubería sea suficientemente resistente tanto a la corrosión del ambiente exterior que la rodea como a la corrosión que genera internamente el agua. La NFPA por ejemplo, permite el uso de tuberías de acero para instalar tramos aéreos de tubería y recomienda el uso de materiales como polietileno de alta densidad o concreto para instalar tramos de tubería enterrados.

Los **rociadores** son los dispositivos que permiten asperjar el agua en una cierta zona de incendio. Los hay de distintos tipos de acuerdo con la clasificación de la temperatura a la cuál operan (baja, media y alta), de acuerdo a la posición en la que se instalan (montante y pendiente), de acuerdo al tamaño de orificio que utilice para descargar el agua, etc. Sin embargo el objetivo del rociador siempre es el mismo, extinguir el fuego con la cantidad mínima de agua y en el menor tiempo de respuesta posible. Estas características son las que ha posicionado actualmente a los sistemas de rociadores como el equipo contra incendios más económico, efectivo y confiable.

7.3.1. ROCIADORES

El dispositivo para aplicar el agua en la zona de incendio, es conocido como rociador o boquilla rociadora (cuando son abiertos). Un rociador es un dispositivo termosensible diseñado para operar a una temperatura predeterminada automáticamente, liberando una corriente de agua y distribuyéndola en cantidades y patrones geométricos específicos sobre un área designada. La distribución automática del agua está destinada a la extinción del fuego o a prevenir la propagación del mismo en el caso de que el fuego inicial se encuentre fuera del alcance de los rociadores o sea del tipo de incendio que no puede ser apagado por la descarga de agua.

El rociador cuenta con un **mecanismo de activación** que puede ser un elemento fusible o un bulbo termosensible. El elemento fusible activa el rociador cuando una laminilla de una

aleación de metal con un predeterminado punto de fusión se funde soltando las palancas que mantienen la tapa del rociador. Por otro lado, el bulbo, comúnmente de vidrio, activa el rociador cuando el líquido contenido en él se expande debido al calor, rompiendo el bulbo y liberando la tapa del rociador.

Figura 7.3.1.1. Rociador de Elemento Fusible

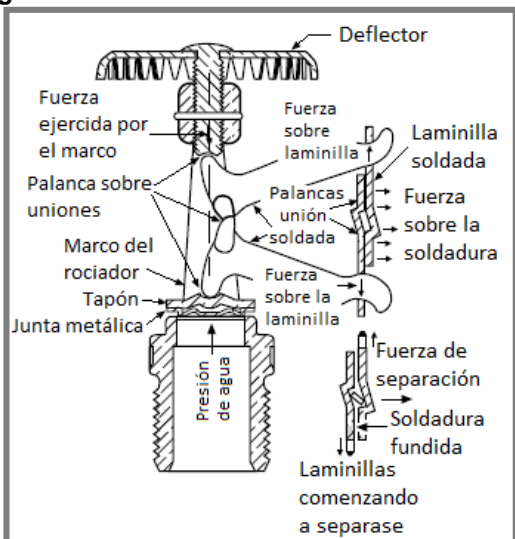
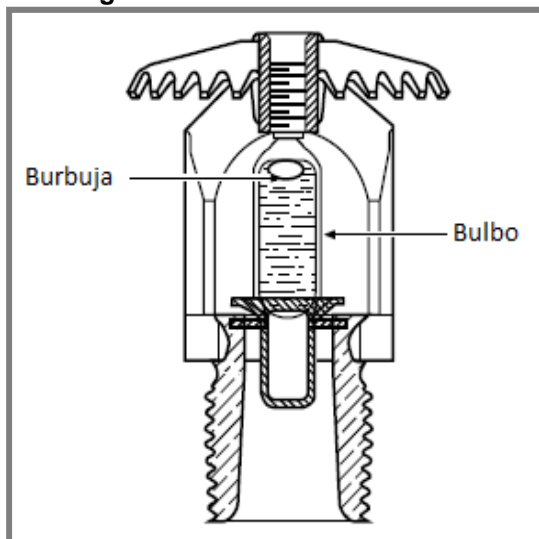


Figura 7.3.1.2. Rociador de Bulbo



Fuente: Fire Protection Handbook, NFPA, 19ª Ed.

Las figuras 7.3.1.1 y 7.3.1.2 muestran los componentes principales de un rociador. Unido al marco del rociador se encuentra un **deflector** contra el cuál la corriente de agua es dirigida para formar un patrón de aspersion diseñado para distribuir de manera efectiva el agua sobre el área de incendio. La cantidad de agua que se descarga depende de la presión del flujo de la misma y del tamaño del orificio del rociador. El tamaño del orificio también define una característica importante de los rociadores conocida como el **factor K** de descarga. El factor K de 5.6 por ejemplo, corresponde a un rociador a un orificio de ½ pulgada de diámetro. Dicho orificio se considera como el tamaño estándar y es utilizado inclusive como punto de referencia con el cual comparar el tamaño de otros orificios. La tabla 7.3.1.1 muestra algunas de las características de identificación de los rociadores incluyendo el factor K, tipo de rosca y diámetro nominal del orificio.

A pesar de que los rociadores pueden ser utilizados para proteger contra diversos tipos de riesgos de incendios tales como los que define la NFPA 13, es importante reconocer que puede haber algunas limitaciones debidas a algunas de sus características. Por ejemplo, un

rociador que posee un orificio de descarga pequeño o un factor K pequeño se encuentra limitado solamente a proteger riesgos ligeros. De ahí la importancia de conocer sus características más importantes.

Tabla 7.3.1.1. Datos de Descarga de Rociadores

Factor-K Nominal gpm/(psi) ^{1/2}	Rango de Factor-K gpm/(psi) ^{1/2}	Porcentaje de Descarga de K-5.6 Nominal	Tipo de Rosca	Dia. Nominal de Orificio pulgadas
1.4	1.3 – 1.5	25	½ pulg. NPT	¾
1.9	1.8 – 2.0	33.3	½ pulg. NPT	5/16
2.8	2.6 – 2.9	50	½ pulg. NPT	3/8
4.2	4.0 – 4.4	75	½ pulg. NPT	7/16
5.6	5.3 – 5.8	100	½ pulg. NPT	1/2
8.0	7.4 – 8.2	140	½ pulg. NPT	17/32
			¾ pulg. NPT	
11.2	11.0 – 11.5	200	½ pulg. NPT	5/8
			¾ pulg. NPT	
14.0	13.5 – 14.5	250	¾ pulg. NPT	3/4
16.8	16.0 – 17.6	300	¾ pulg. NPT	---
19.6	18.6 – 20.6	350	1 pulg. NPT	---
22.4	21.3 – 23.5	400	1 pulg. NPT	---
25.2	23.9 – 26.5	450	1 pulg. NPT	---
28.0	26.6 – 29.4	500	1 pulg. NPT	---

Fuente: NFPA 13, Norma para la instalación de Sistemas de Rociadores, Ed. 2007

Existen tres tipos de rociadores principalmente dependiendo de su instalación: el rociador montante, el rociador pendiente y el rociador de pared. El rociador pendiente es el más común de los tres y es el que más se utiliza cuando la instalación de la tubería de distribución tiene que ocultarse para no irrumpir con la arquitectura del lugar, es decir, cuando la instalación debe quedar arriba del plafón. El rociador montante se utiliza comúnmente en bodegas o naves de almacenamiento, donde no interese conservar la arquitectura del lugar y donde la integridad física de los rociadores se vea afectada por las actividades realizan (fundición) o herramientas (montacargas) que se utilizan en el sitio que protege. Los rociadores de pared como su nombre lo indica se instalan en la pared y son útiles en lugares o zonas donde la morfología del techo o la arquitectura del lugar impida un buen funcionamiento del rociador si éste se instalara directamente en el techo. Cualquiera

de los tres tipos de rociador debe ser fabricado para que descargue agua en un patrón determinado que permita una correcta distribución de la misma.

Los rociadores también poseen una clasificación de temperaturas definida por la NFPA 13 de acuerdo a las condiciones ambientales en las que se encuentre el riesgo que protejan o en las que será instalado el rociador. Por ejemplo, en un lugar donde la temperatura máxima esperada en un día cualquiera exceda los 38 °C, tal como una bodega sin ventilación situada en alguno de los estados al Norte de la República Mexicana, no se podrán utilizar los rociadores clasificados para temperatura ordinaria.

En la tabla 7.3.1.2 se muestran la clasificación existente de rociadores definida por la norma NFPA 13 donde expone la temperatura ambiental máxima a la cual estará expuesto el rociador, los colores que deben tener los rociadores con elemento fusible y los colores que deben ser usados para el líquido que contiene el bulbo.

Tabla 7.3.1.2. Rangos de Temperatura, Clasificaciones y Códigos de Color

Temperatura Máxima del Techo °C	Rango de Temperatura °C	Clasificación de Temperatura	Código de Color	Color del Bulbo
38	57 – 77	Ordinaria	Sin color o negro	Naranja o Rojo
66	79 – 107	Intermedia	Blanco	Amarillo o Verde
107	121 – 149	Alta	Azul	Azul
149	163 – 191	Extra Alta	Rojo	Morado
191	204 – 246	Mucho Muy Alta	Verde	Negro
246	260 – 302	Ultra Alta	Naranja	Negro
329	343	Ultra Alta	Naranja	Negro

Fuente: NFPA 13, Norma para la instalación de Sistemas de Rociadores, Ed. 2007

El líquido que contiene el bulbo de los rociadores básicamente es un alcohol de bajo punto de ebullición. El bulbo también contiene una burbuja de aire de volumen controlado para alcanzar cierta clasificación de temperatura. Tanto más grande sea la burbuja, más alta será la temperatura de operación. Es muy importante seleccionar de manera apropiada la clasificación de temperatura del ambiente para asegurarse de que los rociadores no se activen bajo condiciones sin fuego.

Los rociadores se pueden fabricar con recubrimientos especiales para mejorar su resistencia a la corrosión o sus cualidades estéticas. Los rociadores que se instalen en atmósferas corrosivas por ejemplo, pueden recubrirse con cera o teflón para proveerlos de protección contra corrosión prematura. También existen rociadores disponibles con acabados decorativos especiales para mejorar las características arquitectónicas de un lugar, tales como los rociadores ocultos que pueden instalarse sobre el plafón y evitar desarmonizar con la arquitectura de un edificio. La diversidad de rociadores que existen en el mercado es muy amplia, lo importante es seleccionar el rociador adecuado para cada caso y asegurarse que sean listados para uso en sistemas contra incendios, tal como lo establece la NFPA 13.

La mayoría de los sistemas de rociadores contra incendios, están diseñados para que cada rociador de manera individual sea capaz de reaccionar al calor de un incendio, distribuyendo agua entonces sobre la fuente de dicho calor. Es decir, que no necesariamente todos los rociadores del sistema operarán para extinguir el incendio, sino que solamente operan aquellos rociadores que se encuentren cerca de la fuente de calor. De hecho, de acuerdo con algunos datos estadísticos basados en incendios reportados en los Estados Unidos de América, publicados por la División de Investigación y Análisis de Incendios de la NFPA son sede en Maryland, E. U. A., solo 1 o 2 rociadores fueron operados en el 89% de los incendios en los que un sistema de rociadores tuvo que actuar para controlarlo³.

7.3.2. TUBERÍA

Los sistemas de rociadores utilizan tramos de tubería para poder llevar agua desde la fuente de suministro hasta el área de incendio. Sólo un número determinado de materiales son aceptados para ser utilizados como tubería en un sistema de rociadores. La NFPA 13 enlista actualmente al acero, el cobre, y tubería no metálica tal como el PVC y el PEAD. Dichos materiales deben cumplir con ciertas especificaciones de manufactura para tubería, o ciertos listados o ambos. Al limitar los tipos de materiales para tubería aceptados para utilizarse en sistemas de rociadores, se aumentará la confiabilidad no sólo de la instalación del sistema, sino que también se asegurará la integridad del sistema de tuberías en caso de presentarse un incendio.

La NFPA 13 establece que la tubería de acero que se utilice en sistemas de rociadores debe cumplir con alguna de las especificaciones de materiales para tubería de la tabla que se presenta abajo o de lo contrario debe ser listada para el uso en sistemas contra incendios. Sin embargo, esto no excluye a que un fabricante cuente con tubería de acero listada. A continuación, la tabla 7.3.2.1 muestra las especificaciones de materiales que deben poseer las tuberías de un sistema de rociadores.

Tabla 7.3.2.1. Especificaciones de Tubería

Materiales y Dimensiones	Norma
Tuberías Ferrosas (soldadas y sin costura)	
Especificación para tubería negra y tubería de acero galvanizada para uso en protección contra incendios.	ASTM A 795
Especificación normalizada para tubería de acero soldada y sin costuras.	ASTM A 53
Tubería en acero forjado soldada y sin costuras.	ANSI B 36.10M
Especificación normalizada para tubería de acero soldada por resistencia eléctrica.	ASTM A 135
Tubo de Cobre (estirado, sin costuras)	
Especificación para tubo de cobre sin costura.	ASTM B 75
Especificación para tubería de cobre sin costuras para agua.	ASTM B 88
Especificación de requerimientos generales para tubo de cobre forjado sin costuras y de aleación de cobre.	ASTM B 251
Fundentes para aplicaciones de soldadura para tubo de cobre y de aleación de cobre.	ASTM B 813
Soldadura para metal de aporte (clasificación BCuP-3 o BCuP-4).	AWS A 5.8
Soldadura metálica, Sección 1: Aleaciones de soldadura que contienen menos de 0.2% de plomo y con temperaturas de solidificación mayores a los 400 °F.	ASTM B 32
Aleaciones de materiales	ASTM B 446
Tuberías no metálicas	
Especificación para tubería listada especial de Cloruro de Polivinilo Clorado (CPVC)	ASTM F 442

Fuente: NFPA 13, Norma para la instalación de Sistemas de Rociadores, Ed. 2007

Además de identificar y limitar el tipo de materiales de la tubería que pueden utilizarse, la NFPA 13 también especifica la manera en que ésta debe unirse. Se permiten realizar conexiones mediante uniones roscadas, uniones ranuradas y hasta soldadas para poder unir la tubería. Sin embargo se debe poner especial atención a los requerimientos que la NFPA 13 exige para cada uno de los métodos de unión.

La tubería unida por soldadura por ejemplo, debe comprarse soldada ya que la NFPA 13 requiere que la tubería sea soldada por el fabricante de la tubería. Sin embargo, si el sistema requiere de soldar tubería en el sitio de la instalación, la NFPA 13 permite que sea una soldadura realizada por personas calificadas para dicho trabajo y que realice bajo los lineamientos de las normas NFPA aplicables.

Unir la tubería por medio de uniones roscadas puede ser un método rápido y sencillo al momento de instalar un sistema de rociadores. La limitante en esta ocasión es que la NFPA 13 sólo permite utilizar éste tipo de uniones para tubería de hasta 2 pulgadas de diámetro y además las roscas deben cortarse de acuerdo con la norma ASME B1.20.1 donde se define el número de hilos por pulgada que debe tener la rosca.

Hoy en día es preferible utilizar las uniones ranuradas para las tuberías de los sistemas de rociadores. Es un método sencillo, muy rápido, económico y confiable que permite unir tramos de tubería en el lugar de la instalación con la gran ventaja de que el sistema puede desmontarse con la misma facilidad y velocidad con que fue armado. Sólo hay que poner cuidado en que los coples, los sellos y el ranurado de la tubería sean listados.

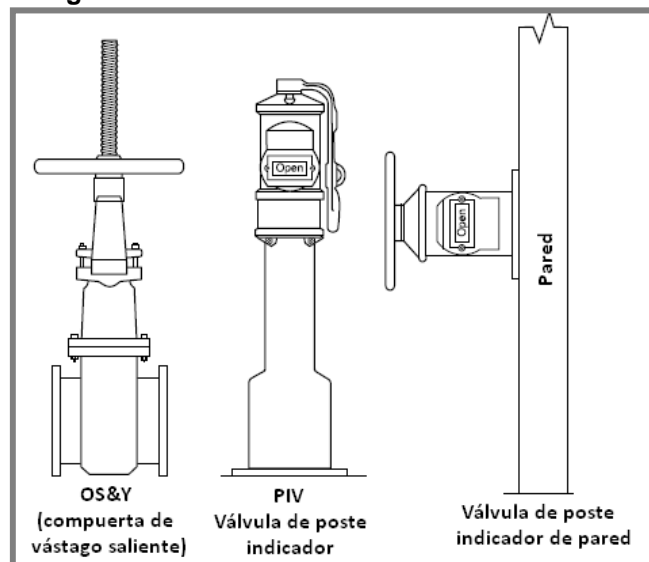
7.3.3. VÁLVULAS

La manera más sencilla de controlar el flujo de un fluido a través de una tubería es por medio de válvulas que permitan o no su libre conducción. Los sistemas de rociadores no son la excepción y por lo tanto requieren de al menos instalar una válvula que sea listada y que permita dejar fuera de servicio al sistema. Como cuestión de rutina, los sistemas de rociadores deben mantener sus válvulas siempre abiertas excepto cuando se realice labor de mantenimiento en el sistema, se le realice alguna modificación o al momento posterior a un incendio para permitir el reemplazo de los rociadores que se activaron. Los tipos de válvulas que se utilizan en los sistemas de rociadores varían de acuerdo con la ubicación de la válvula en el sistema de abastecimiento de agua o porción de éste.

Se utilizan válvulas de aislamiento para dejar fuera de operación el sistema. Las válvulas de una dirección o válvulas de retención (check) se utilizan para evitar el flujo de agua en una dirección determinada. Para mantener la presión del sistema en un cierto nivel las válvulas

reguladoras de presión son ideales. Las válvulas de pequeñas dimensiones y de operación sencilla se utilizan normalmente para drenajes o conexiones de prueba. Cualquiera que sea el tipo de válvula a utilizar, debe cumplir con ciertos requisitos tales como ser **listada** para uso en la protección contra incendios, encontrarse **supervisada** en la posición normalmente abierta, ser **identificada** de acuerdo con el área o segmento del sistema que controla y no cerrar en un lapso de tiempo menor a 5 segundos desde su posición totalmente abierta y a su máxima velocidad de cierre.

Figura 7.3.3.1. Válvulas de control indicadoras



Fuente: *Fire Protection Handbook, NFPA, 19ª Ed.*

Una característica muy importante que deben tener las válvulas que se utilizan en los sistemas de rociadores es que sean indicadoras de su posición. El propósito de poseer una característica indicadora es proveer un método que permita identificar rápidamente si una válvula se encuentra en su posición abierta o cerrada. Una de las válvulas más comúnmente utilizadas debido a que cumplen con dicha característica son las válvulas de vástago saliente o válvulas OS&Y (por sus siglas en inglés). La movilidad del vástago que posee la válvula permite identificar si se encuentra cerrada o abierta. Cuando el vástago se encuentra fuera es un indicativo de que la válvula está abierta, contrariamente a lo anterior, si se encuentra adentro es indicativo de que la válvula se encuentra cerrada. La figura 7.3.3.1 muestra algunos ejemplos de este tipo de válvulas, que se utilizan en sistemas de rociadores.

Actualmente existen muchos otros métodos que permiten conocer la posición de una válvula y la NFPA 13 no pone restricción en ninguno, sólo exige que las válvulas que se instalen en los sistemas de rociadores sean indicadoras de su posición.

La supervisión de las válvulas se puede realizar mediante dos métodos, el activo y el pasivo. Cuando una válvula es supervisada mediante el método activo, ésta posee un dispositivo electrónico que comúnmente se conecta a un tablero central ubicado de preferencia en un cuarto de control o central de alarmas del edificio que se protege y donde siempre existirá la presencia de alguna persona que verifique el estado en el que se encuentra todo el sistema. Este dispositivo es capaz de dar aviso cuando la válvula se encuentre cerrada o abierta o en malas condiciones de operación y de este modo el usuario puede verificar con una inspección posterior. El método pasivo de supervisión se logra mediante la instalación de algún tipo de seguro o candado que pueda adecuarse a la válvula de manera que sólo la persona autorizada para operar el sistema pueda tener acceso a su funcionamiento.

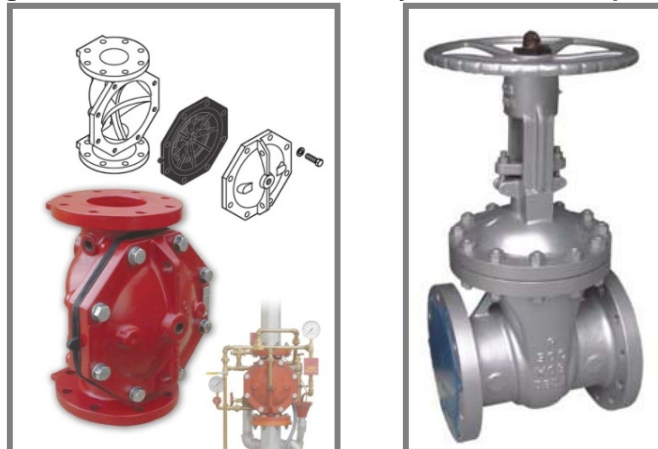
Existen otro tipo de válvulas cuyos requerimientos no son tan estrictos como los de las válvulas de control, sin embargo es necesario instalarlas para asegurar un buen desempeño del sistema. Tal es el caso de la válvula de drenaje principal y la válvula de inspección y prueba. La primera debe ubicarse en la tubería principal de alimentación (riser) para que permita drenar la totalidad de la tubería en actividades de mantenimiento o prueba, y la segunda es una válvula que debe ubicarse en alguna parte del sistema que permita simular la acción de un rociador y así poder probarlo.

Tabla 7.3.3.1. Válvulas para sistemas de rociadores y su función

TIPOS DE VÁLVULAS	FUNCIÓN
Válvula de compuerta (OS&Y), válvula de mariposa.	Válvula de control o aislamiento
Válvula de diafragma (diluvio), válvula de tubería seca, válvula de preacción.	Válvula de activación
Válvula macho, válvula de bola.	Válvula para drenaje
Válvula macho, válvula de bola.	Válvula de prueba e inspección
Válvula de retención (check)	Válvula de una dirección
Válvula check	Válvula de alarma
Válvula reguladora de presión	Válvula reguladora de presión

La tabla 7.3.3.1, muestra una relación de los tipos de válvulas que pueden instalarse en un sistema de rociadores y la función que deben realizar. De igual forma, la figura 7.3.3.2 muestra dos de las válvulas que se utilizan comúnmente en un sistema de rociadores: la válvula de diluvio y la válvula de compuerta de vástago saliente.

Figura 7.3.3.2. Válvula de diluvio y válvula de compuerta



Fuentes: Tyco y NIBCO.

7.3.4. OTROS ACCESORIOS

Los sistemas de rociadores utilizan otro tipo de accesorios además de los que ya se describieron en el texto arriba. Accesorios tales como conexiones especiales para ingresar agua al sistema o para probar el sistema serán descritos en esta sección. Dichos accesorios son muy importantes para el correcto desempeño de los sistemas de rociadores, sin embargo la ausencia de uno o más de ellos no interviene directamente con el funcionamiento del sistema.

7.3.4.1. Conexión para el departamento de bomberos

La conexión para el departamento de bomberos es un accesorio que todo sistema de rociadores debe tener. La conexión que describe y requiere la NFPA 13 tiene una filosofía de operación muy diferente a la toma siamesa que en México se utilizan para auxiliar a los bomberos. En México la toma siamesa para departamento de bomberos se utiliza para abastecer de agua el carro bomba en caso de que no porten con la suficiente agua para el combate de incendios.

La conexión para el departamento de bomberos de la NFPA 13 consiste en dos conexiones para manguera de 2 ½ pulgadas de diámetro con roscas tipo NHST, que deben conectarse directamente al riser y además deben contar con una válvula check que no permita el flujo de agua fuera del sistema. La función de esta conexión es para que el departamento de bomberos pueda conectar un carro bomba y alimentar al sistema con agua de respaldo o para aumentar la presión en el sistema en caso de que se requiera al momento de atender una emergencia. La conexión debe contar también con una placa de identificación donde se exprese que dicha conexión es para el sistema de rociadores y la presión a la que se debe alimentar el agua en ese punto.

7.3.4.2. Dispositivo de alarma de flujo

El sistema de rociadores debe contar con un dispositivo de alarma de flujo que debe instalarse de preferencia en el riser y que cumple la función de notificar mediante un sonido que un rociador se abrió, es decir, que el sistema ha sido activado por la presencia de un incendio. Dependiendo el tipo de sistema, dicho dispositivo puede ser una válvula check de alarma, un dispositivo electrónico de alarma, un dispositivo conectado a la válvula de tubería seca o un aparato que sea activado por la activación de la válvula de diluvio y la activación de algún detector a la vez. El dispositivo de alarma debe incluir una alarma/campana de tipo mecánico o una alarma de tipo eléctrico como un timbre, una bocina, una sirena, etc. Tanto el dispositivo de alarma como la campana o timbre deben ser listados.

7.3.4.3. Manómetros

Los manómetros son esenciales para los sistemas de rociadores debido a que son los accesorios que le dicen al usuario si el sistema se encuentra presurizado o no, cómo se encuentra el desempeño del sistema cuando éste funciona y con los únicos que se puede verificar si se el sistema todavía se encuentra en buen estado o es necesario realizar algún mantenimiento.

La norma NFPA 13 pide instalar manómetros en el sistema al menos las siguientes ubicaciones: antes y después de la válvula de activación del sistema, en el drenaje principal del sistema y drenajes auxiliares por cada válvula de control si se tienen instaladas por piso,

lo más cercano posible a la descarga de la conexión de inspección y prueba, y si se utilizan válvulas reguladoras de presión, uno antes y uno después de la válvula. Los manómetros que se instalen deben tener una escala adecuada tomando en consideración la presión máxima de trabajo del sistema y su instalación debe ser de tal manera que permita removerlos para darle mantenimiento o sustituirlos según sea el caso.

7.3.4.4. Conexiones para mangueras

Otros accesorios importantes en los sistemas de rociadores y que en muchos de los casos ayudan al cuerpo de bomberos en el combate a incendios son las conexiones para mangueras. Las conexiones para mangueras deben instalarse para que el departamento de bomberos las utilice y no los usuarios del edificio que se protege con rociadores a menos que la Autoridad Competente así lo requiera.

Las conexiones para mangueras deben tener válvulas de 2 ½ pulgadas de diámetro si son para uso exclusivo del departamento de bomberos y de 1 ½ pulgadas si son para uso de los ocupantes de la edificación. A diferencia de los otros accesorios, las conexiones para mangueras pueden proveerse mediante una red alterna a la del sistema de rociadores o derivarse de la red de rociadores en una conexión directamente del riser del sistema.

7.3.4.5. Soportes

El soporte físico de los sistemas de supresión de incendios a base de agua es esencial para la operación correcta del sistema, y los requerimientos específicos sobre la soportería de sistemas de rociadores se han incluido en la NFPA 13 desde su primera edición publicada en 1896. Existen diversos tipos de soportes que se utilizan para sostener la tubería contra incendios, con una variedad de componentes que se sujetan a la estructura del edificio o se sujetan a la tubería. Algunos tipos de soportes combinan ambos tipos de componentes.

Existen los ganchos tipo-U con correas cortas, algunas veces llamados broches. Los soportes de anillos giratorios ajustables (conocidos como soportes de banda de acero ajustable), los soportes colgantes de horquilla y los soportes de anillo partido son los

componentes de sujeción más comúnmente utilizados para suspender tubería horizontal contra incendios. Las abrazaderas tipo C son las más comúnmente utilizadas para suspender la tubería de estructuras de acero (como vigas) y se sujetan rígidamente al borde superior o inferior de la viga. Se utilizan varillas roscadas de acero dulce para unir el accesorio de sujeción estructural con el de la tubería.

Además de los soportes fijos que se mencionaron anteriormente, existen los soportes antisísmicos que la NFPA 13 requiere de instalar de acuerdo con el área sísmica donde se construirá el sistema de rociadores.

Tanto los soportes fijos como los antisísmicos requieren de un cálculo de la capacidad de carga que poseen. También deben de cumplir con ciertos lineamientos de instalación tales como el espaciamiento máximo entre soportes y los componentes de los soportes, así como tomar en cuenta la tubería llena de agua para el cálculo de las cargas.

7.4. TIPOS Y MÉTODOS DE ALMACENAMIENTO

La configuración del almacenamiento tiene un impacto considerable en cómo un incendio potencial arde. Es por ello que el método de almacenamiento de la mercancía sea considerado en la elaboración de un plan de protección contra incendios. Los arreglos más comunes de almacenamiento de mercancía son a granel, en pilas, en entarimados de madera o plástico o en racks. El acomodo en repisas o anaqueles se utiliza más para almacenes pequeños con cantidades moderadas de producto. La mayoría de las bodegas combinan los diversos métodos de almacenamiento.

El factor considerado más crítico entre los diferentes métodos de almacenamiento que afecta el comportamiento del fuego y la dificultad de controlarlo es la presencia de pasillos y espacios de flujo. Los distintos acomodos de la mercancía crean estos espacios horizontales o verticales por donde corre el aire. El aire fluye entonces a través de los espacios alimentando al incendio de oxígeno. A pesar de que dichos espacios de flujo de aire no son deseados, no deberán de obstruirse de ningún modo. Las obstrucciones existentes en espacios de flujo pueden provocar que el calor y los productos de combustión del incendio

no alcancen a activar un detector o un rociador y además pueden evitar que el agua o cualquier otro tipo de producto extintor alcance al fuego.

7.4.1. ALMACENAMIENTO A GRANEL

El almacenamiento a granel consiste en la aglomeración de pilas del material suelto o en flujo libre tales como polvos, granos, pellets, hojuelas, o productos agrícolas como cacahuates. El producto es almacenado típicamente en silos, contenedores, tanques o en grandes pilas sobre el piso. Comúnmente los espacios de flujo de aire no se presentan en este tipo de acomodo. La figura 7.4.1.1 muestra como es el almacenamiento a granel.

Figura 7.4.1.1. Almacenamiento a granel de azufre



Fuente: *Fertiberia*.

Los incendios que puedan presentarse en grandes montículos de producto, tienden a escabullirse al interior del montículo, haciendo complicada la tarea de extinción. Este tipo de incendios requieren de una hidratación prolongada del montículo para poder alcanzar el foco del incendio. El almacenamiento a granel también está sujeto a una ignición espontánea sobre todo tratándose de polvos.

Las bandas transportadoras, ductos neumáticos y transportadoras de cubos, se utilizan usualmente para transferir el material hacia y desde su ubicación de almacenamiento. Estos procesos de movimiento perturban y agitan al producto. Entonces los materiales combustibles suspendidos en el aire presentan un riesgo de explosión. Adicionalmente a lo anterior, el mismo equipo transportador puede servir como combustible y quemarse junto con el producto en lugares inaccesibles para el combate del incendio.

7.4.2. PILAS DE ALMACENAMIENTO

El almacenamiento en pilas consiste en el acomodo de cajas de cartón u otro material, pacas, bolsas y en algunas ocasiones en contacto directo consigo mismo, uno sobre otro. Los espacios de flujo de aire sólo se presentan donde el contacto es imperfecto, o donde una pila está muy cerca, pero sin tocar a otra pila. Debido a que no se utilizan tarimas en este tipo de acomodo, el apilado del producto se realiza a mano o mediante carretillas elevadoras con abrazaderas laterales o flejes que son ajustados entre paquetes o pacas sin dañar el producto. La figura 7.4.2.1 muestra un ejemplo del almacenamiento en pilas.

Figura 7.4.2.1. Pilas de almacenamiento



En relación con el acomodo en tarimas o en racks, el almacenamiento en pilas de producto presenta menor oportunidad para el desarrollo y la propagación del fuego debido a la restricción de aire que existe, resultando en un desafío menor para el combate del incendio que para el almacenamiento en tarimas o en racks.

Aún así, las pilas que son demasiado altas presentan un riesgo considerable de incendio, especialmente cuando la superficie del empaque del producto sea de un material susceptible a producir una propagación de flama rápida. De igual manera, entre más alta sea la pila, más difícil será el trabajo de combate del incendio.

7.4.3. ALMACENAMIENTO EN TARIMAS

El almacenamiento en tarimas (pallets) consiste en el acomodo de unidades de carga situadas sobre tarimas (de madera o plástico) que posteriormente son apiladas una sobre la otra. Una unidad de carga usualmente es de forma cúbica con dimensiones entre 1.22 y 1.52 m de altura, y puede constituirse de un simple paquete o de varios paquetes. La superficie superior de un entarimado debe soportar adecuadamente otros entarimados de manera tal que el producto no se rompa o la pila no se vuelve inestable. Debido a las consideraciones anteriores, usualmente la altura total del entarimado no excede los 9.1 m. La figura 7.4.3.1 muestra como es el almacenamiento en tarimas.

Figura 7.4.3.1. Almacenamiento en tarimas



Fuente: UNICEF.

Las tarimas poseen espacios horizontales abiertos para los montacargas. Dichos espacios hacen funcional este arreglo de almacenaje, sin embargo incrementa el riesgo de incendio. Los espacios de flujo de aire usualmente continúan a lo largo de una fila de entarimado. Los espacios abiertos verticales al igual que los horizontales permiten el ingreso del aire hacia el incendio de manera fácil. Adicionalmente a esto, la configuración de este método permite que el fuego arda entre los espacios mientras que los entarimados protegen de alguna manera al fuego de la aspersion del agua proveniente de un sistema de rociadores en el techo.

7.4.4. ALMACENAMIENTO EN RACKS

Un almacén de racks es un marco estructural sobre cuál la mercancía es situada, usualmente en tarimas. El diseño de los sistemas de almacenamiento en racks maximiza la capacidad de almacenaje vertical. La altura de almacenamiento es limitada por la altura del techo o por el alcance de los equipos de maniobra del almacén. Algunos arreglos de almacenaje en racks sobre pasan los 9.3 m de altura. La figura 7.4.4.1 muestra como son los racks de almacenamiento.

Las configuraciones más comunes de racks son de una o doble fila de racks. Los racks de una fila incluyen racks con más de 1.83 m de ancho y pasillos de separación entre racks de al menos 1.05 m de ancho. Los racks de doble fila consisten en dos racks de fila simple instalados uno junto al otro con una profundidad combinada de más de 3.66 m y pasillos de separación de al menos 1.05 m de ancho en ambos lados.

Figura 7.4.4.1. Racks de almacenamiento



Fuente: EMESA.

El **almacenamiento en compartimentos** es una variante del almacenamiento en racks en el cuál placas (de metal o madera) divisoras verticales crean espacios o compartimentos de cinco caras y donde la única abertura da a un pasillo. No existen aberturas entre las caras laterales, superior, inferior y trasera. Los compartimentos no exceden 0.91 m de altura, por 0.91 m de ancho y 0.91 m de profundidad. La altura de almacenamiento no usualmente es menor de 6.1 m.

Los **anaqueles** o **estanterías**, son otra variante del almacenamiento en racks, donde las repisas son sólidas pero angostas (0.76 m o menos), y los racks están acomodados en filas sencillas. Los pasillos entre anaqueles usualmente son de entre 0.61 y 0.91 m de ancho. La altura entre repisas no va más allá de los 0.61 m y la altura de almacenaje no supera los 4.75 m. En la figura 7.4.4.2 se puede apreciar los anaqueles para almacenamiento.

Figura 7.4.4.2. Estanterías metálicas



Fuente: *HCH Industrial.*

8. PRINCIPIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ROCIADORES

Los sistemas de rociadores automáticos contra incendios utilizan agua como agente extinguidor aprovechando no solamente el hecho de que está disponible en gran cantidad y sigue siendo económica, sino también aprovechando sus características de extinción de incendios como su alto calor latente de vaporización. Simplemente un galón de agua es capaz de absorber 2586.5 kJ de energía en forma de calor cuando incrementa de la temperatura ambiente de 21 °C hasta convertirse en vapor a unos 100 °C.

Debido a lo anterior es que el diseño de estos sistemas se encuentre íntimamente relacionado con fenómenos y conceptos de hidráulica. Es importante destacar que es necesario conocer algunos conceptos básicos sobre el flujo de fluidos para resolver problemas de hidráulica y comprender mejor un diseño de rociadores. No hay que olvidarse de las características que un fluido posee y que nos ayudan con los cálculos al momento de diseñar.

La **densidad** de un fluido por ejemplo, que es la masa que existe en una unidad de volumen del mismo y que para el agua a 4 °C es igual a 1000 kg/m³. El **peso específico** que es la fuerza que ejerce la gravedad sobre la unidad de volumen de un fluido, a una temperatura de 4 °C es igual a 9.81 kN/m³ de agua. Y la **viscosidad**, aquella propiedad de un fluido que puede considerarse como la capacidad de éste para resistirse a la deformación o la facilidad con que éste fluye cuando se encuentra bajo la acción de una fuerza externa.

Para comprender de manera más sencilla los conceptos que deben tomarse en cuenta cuando se diseña un sistema de rociadores, es conveniente revisar algunos temas de la ingeniería hidráulica que permitan recordar cómo determinar una caída de presión por fricción e inclusive cómo determinar la cantidad de agua que se descarga por un rociador.

8.1. HIDRÁULICA BÁSICA

La Hidráulica es considerada como una aplicación del conocimiento sobre el comportamiento de los fluidos para resolver problemas prácticos de flujo de fluidos. Generalmente se utiliza para describir el comportamiento y los efectos del agua en

movimiento en conductos cerrados o en canales abiertos. En el campo de la protección contra incendios interesa principalmente el régimen de flujo en tubería cerrada.

Como primer punto no hay que olvidarse del concepto de **presión**, que es una fuerza ejercida sobre un área la cuál cuando se trata de un fluido es la fuerza por unidad de área que ejercida por un esfuerzo de compresión. El principio de Pascal establece que la presión en un fluido en reposo es la misma en todas direcciones, condición diferente a la que se da en un sólido a compresión donde el esfuerzo ejercido sobre un plano superficial depende de la orientación del mismo. Existen diversas unidades que describen la presión tal como Newton/m o Pascales, sin embargo, las que más se utilizan en la protección contra incendios son kg/cm^2 y lbs/in^2 (ó también conocidas como **psi**).

La **presión normal** o **neta** es la presión ejercida sobre la pared interna de una tubería o un recipiente por un fluido estático o en movimiento. Cuando el fluido se encuentra estático ésta se llama **presión estática**, cuando el fluido se encuentra en movimiento se llama **presión residual**. La presión ejercida por una columna de agua está relacionada íntimamente con el peso específico. Expresado de manera un poco diferente, el peso específico del agua es:

$$62.4 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} = \frac{62.4 \text{ lb}}{\text{ft ft}^2} \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ in}^2} = 0.433 \text{ psi/ft}$$

Lo anterior quiere decir, que una columna de agua, puede ejercer **0.433 psi** de presión por cada **pie** de altura que ésta tenga de elevación. Esta presión que es ejercida por el agua sin movimiento alguno, es la presión estática.

8.1.1. PRINCIPIOS DE CONSERVACIÓN

El flujo del agua en una tubería es un fenómeno realmente complicado que para resolver problemas mediante un estudio matemático es preferible transportarlo a un terreno más simplista y realizar algunas suposiciones teóricas que permitan resolverlo de una forma más rápida y sencilla. La hidráulica que compete a la protección contra incendio realiza la suposición de que si el agua se considera como un líquido incompresible cuyas propiedades principales serán invariables a la acción de la presión y la temperatura, entonces aplicando

el principio de conservación de la masa permite expresar una ecuación de continuidad que resulta en la expresión siguiente:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{constante} = Q$$

De donde **A** es el área transversal del tubo y **v** la velocidad de flujo del fluido. Los subíndices 1 y 2 indican dos condiciones diferentes bajo las cuales son determinadas las características del fluido.

Aplicando ahora el principio de conservación de la energía al flujo del agua, es posible deducir una expresión matemática que describe el balance energético neto del fluido en cualquier punto de su camino. Dicha expresión se conoce como principio o ecuación de Bernoulli y que puede escribirse como:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

En esta forma las unidades resultantes son **ft** o **m**. Sin embargo al multiplicar la ecuación por el término de gravedad específica γ , las unidades resultantes son unidades de presión. Además de la presión, la velocidad y la energía potencial que posee el agua en distintas posiciones (elevaciones), al pasar de las condiciones **1** a las condiciones **2** es posible adicionarle energía (trabajo de una bomba sobre el fluido) o puede perder la energía (a través de la fricción). Por lo tanto, una forma más completa de la expresión de Bernoulli que considere dichas adiciones de energía es la siguiente:

$$\left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \right) + E_A - E_p = \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \right)$$

Energía en condición 1	+ E_A	- E_p	=	Energía en condición 2
	Energía adicionada	Energía perdida		

Tal como se mencionó en el párrafo anterior, el término E_A se refiere a la energía que se le puede adicionar al agua mediante una bomba, por ejemplo. El término E_p , se refiere a la energía perdida, que puede ser a través de la fricción existente en la tubería al fluir. Los

otros términos son los correspondientes a la energía estática en los puntos 1 y 2. Si se utilizan los términos más adecuados para describir la ecuación, se puede escribir entonces:

$$\left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \right) + W_f - h_f = \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \right)$$

La hidráulica en protección contra incendios presenta un interés principalmente en la energía que puede adicionarse al agua mediante una bomba y en las pérdidas de energía por fricción que obtenga el líquido al pasar a través de la tubería²⁷.

8.1.2. PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

La parte de la hidráulica que trata aspectos de la pérdida de energía del agua debida a la fricción, es bien conocida y utilizada en el campo de incendios. Las pérdidas por fricción se encuentran íntimamente relacionadas con los esfuerzos cortantes que se presentan en la interfase de la pared del tubo y el líquido, debido a un gradiente de presión. El flujo se encuentra limitado entonces por las fuerzas de arrastre que actúan en dirección contraria sobre la pared del conducto. Estos fenómenos se deben principalmente a dos propiedades: la viscosidad del fluido y la rugosidad de la superficie sobre la que se desplaza el fluido (pared del tubo).

La **Ley de Viscosidad de Newton**, permite describir los efectos de la viscosidad de un fluido, ya que establece que el esfuerzo cortante que se genera en la interfase del tubo y el fluido, en dirección contraria al flujo (cuando se encuentra en movimiento), es proporcional a la tasa de cambio de la velocidad del mismo, con respecto a la distancia que haya recorrido, matemáticamente se establece como:

$$\tau \propto \frac{\partial V}{\partial x}$$

Al insertar un coeficiente de proporcionalidad en la ley de viscosidad de Newton, se obtiene la siguiente expresión:

$$\tau = \mu \frac{\partial V}{\partial x}$$

De donde τ es el esfuerzo cortante resultante, μ es el coeficiente de viscosidad del fluido, V es la velocidad y x es la distancia recorrida.

Por otro lado, los efectos de la rugosidad de la tubería pueden describirse mediante la ecuación de **Darcy-Weisbach**, que es una relación empírica entre las pérdidas por fricción, la rugosidad de la tubería, la velocidad de flujo y las características estructurales de la tubería:

$$h_f = \frac{fLv^2}{D2g_n}$$

De donde, h_f son las pérdidas por fricción en la tubería, L y D son la longitud y el diámetro de la tubería respectivamente, v es la velocidad del fluido, f es el coeficiente de fricción determinado experimentalmente y g_n es la aceleración de la gravedad. Esta expresión da los resultados en metros de columna de agua. Para obtener los resultados en N/m² (o Pascales), la expresión puede ser escrita como sigue:

$$\Delta P = \frac{\rho fLv^2}{D2}$$

Una de las expresiones más ampliamente utilizada hoy en día para el flujo de agua en tuberías, es la ecuación empírica de **Hazen-Williams**, ya que dicha expresión permite relacionar de forma directa la rugosidad de los distintos materiales de tubería, con las pérdidas de presión que ésta ocasiona. Desarrollada a finales del siglo XIX, de la observación del flujo de agua a través de numerosos tipos de tubería, la ecuación de Hazen-Williams originalmente fue escrita como:

$$V = 0.113CD^{0.63}S^{0.54}$$

De donde V es la velocidad del fluido, D es el diámetro del tubo y C es un coeficiente de rugosidad de la tubería conocido como **factor de rugosidad o factor C de Hazen-Williams**. Esta expresión sólo es válida para el agua que fluye en conductos circulares, sin embargo, su versatilidad radica en que su coeficiente de fricción C , que se encuentra determinado en función de la rugosidad de la pared interna de la tubería. Entre más grande sea el valor de C , menor es la resistencia que opone la pared del tubo y de forma contraria, entre más pequeño sea el valor de C , mayor es la resistencia que opone la pared. En la tabla 8.1.2.1, se enlistan ejemplos de valores de C de diferentes materiales:

Tabla 8.1.2.1. Valores de factor C de Hazen-Williams

MATERIAL DE TUBERÍA	FACTOR C
Hierro fundido o dúctil sin revestimiento	100
Acero negro (para sistemas secos incluyendo de preacción)	100
Acero negro (para sistemas húmedos incluyendo de diluvio)	120
Galvanizada (todas)	120
Plástica (listada) todas	150
Hierro fundido o dúctil con revestimiento de cemento	140
Tubo de cobre o acero inoxidable	150
Fibro cemento	140
Concreto	140

Fuente: NFPA 13, Norma para la instalación de Sistemas de Rociadores, Ed. 2007

De esta manera, dependiendo del material que se utilice para construir la tubería que conduce el agua, es la cantidad de energía que pierde el agua a través del conducto. Rearreglando la expresión para que las pérdidas de presión por fricción sean determinadas en función del diámetro interno de la tubería y el flujo que pasa a través de ella, entonces se puede escribir como:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{4.52Q^{1.85}}{C^{1.85}D^{4.87}}$$

Donde las pérdidas de presión por fricción p están dadas en unidades de libras por pulgada cuadrada (**psi**) por pie (**ft**) lineal de tubería, Q es el flujo de agua que pasa a través del tubo en galones por minuto (**gpm**), D es el diámetro interno del tubo en pulgadas (**in**) y C es el factor de rugosidad de la tubería.

El flujo a través de accesorios de tubería genera flujos con mayor turbulencia y por lo tanto, pérdidas de energía adicionales. Dichas pérdidas de energía son conocidas como **pérdidas menores** sin embargo, pueden formar parte significativa de la pérdida total de energía por fricción, cuando se habla de redes de tubería de gran tamaño o extensión. Los accesorios que pueden generar pérdidas adicionales por fricción, son las válvulas, codos, tes, reducciones o expansiones (en general cambios de diámetro en la tubería), entre otros.

El valor de estas pérdidas se expresa como las pérdidas equivalentes a los de un tramo recto de tubería de cierta longitud. La figura 8.1.2.1 muestra los pies (o metros) equivalentes de tubería, de algunos accesorios que comúnmente se utilizan en redes de agua contra incendios.

Figura 8.1.2.1. Longitudes Equivalentes de accesorios en pies (metros) de tubería

Accesorios y Válvulas	½ pulg (15 mm)	¾ pulg (20 mm)	1 pulg (25 mm)	1¼ pulg (32 mm)	1½ pulg (40 mm)	2 pulg (50 mm)	2½ pulg (65 mm)	3 pulg (80 mm)	3½ pulg (90 mm)	4 pulg (100 mm)	5 pulg (125 mm)	6 pulg (150 mm)	8 pulg (200 mm)	10 pulg (250 mm)	12 pulg (300 mm)
Codo a 45°	—	1 (0,3)	1 (0,3)	1 (0,3)	2 (0,6)	2 (0,6)	3 (0,9)	3 (0,9)	3 (0,9)	4 (1,2)	5 (1,5)	7 (2,1)	9 (2,7)	11 (3,4)	13 (4)
Codo estándar a 90°	1 (0,3)	2 (0,6)	2 (0,6)	3 (0,9)	4 (1,2)	5 (1,5)	6 (1,8)	7 (2,1)	8 (2,4)	10 (3)	12 (3,7)	14 (4,3)	18 (5,5)	22 (6,7)	27 (8,2)
Codo de giro largo a 90°	0,5 (0,2)	1 (0,3)	2 (0,6)	2 (0,6)	2 (0,6)	3 (0,9)	4 (1,2)	5 (1,5)	5 (1,5)	6 (1,8)	8 (2,4)	9 (2,7)	13 (4)	16 (4,9)	18 (5,5)
Té o cruz (giro de flujo de 90°)	3 (0,9)	4 (1,2)	5 (1,5)	6 (1,8)	8 (2,4)	10 (3)	12 (3,7)	15 (4,6)	17 (5,2)	20 (6,1)	25 (7,6)	30 (9,1)	35 (10,7)	50 (15,2)	60 (18,3)
Válvula mariposa	—	—	—	—	—	6 (1,8)	7 (2,1)	10 (3)	—	12 (3,7)	9 (2,7)	10 (3)	12 (3,7)	19 (5,8)	21 (6,4)
Válvula de compuerta	—	—	—	—	—	1 (0,3)	1 (0,3)	1 (0,3)	1 (0,3)	2 (0,6)	2 (0,6)	3 (0,9)	4 (1,2)	5 (1,5)	6 (1,8)
Retención tipo charnela*	—	—	5 (1,5)	7 (2,1)	9 (2,7)	11 (3,4)	14 (4,3)	16 (4,9)	19 (5,8)	22 (6,7)	27 (8,2)	32 (9,3)	45 (13,7)	55 (16,8)	65 (20)

Fuente: NFPA 13, Norma para instalación de Sistemas de Rociadores, Ed. 2007.

Otra forma para determinar las pérdidas por fricción en accesorios, es mediante el uso de un coeficiente de resistencia **k**, que es una constante de proporcionalidad entre la pérdida de energía y la energía cinética que lleva el fluido. Así:

$$\Delta P = k \frac{v^2}{2g} \quad \text{debido a que } k \text{ puede expresarse como: } k = f \frac{L}{D}$$

Los valores que puede tener la constante k dependiendo del accesorio que se trate, se pueden consultar en la literatura técnica, ya que éstos se determinan de manera empírica.

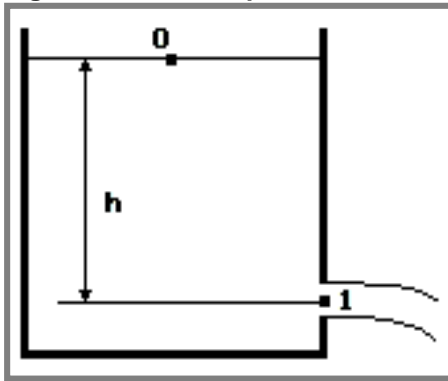
8.1.3. DESCARGA DE AGUA

La descarga de agua es un fenómeno que puede suceder de diversas formas: desde un orificio abierto sobre la pared de un tanque, hasta una simple tubería abierta de un extremo. De cualquier forma, es un fenómeno en el que la energía almacenada en un contenedor (tanque o tubería) se convierte en energía cinética. En la protección contra incendios, las descargas de agua se utilizan comúnmente para aplicar el vital líquido sobre la superficie incendiada, ya sea para extinguir el fuego o controlarlo. Los bomberos, con ayuda de mangueras conectadas a hidrantes utilizan el agua descargándola en forma de chorro o neblina. Los rociadores por su parte, al operar se convierten en pequeñas descargas de agua cuyo patrón de descarga forma una especie de cortina, para extinguir el incendio.

La determinación de la cantidad de flujo y la presión en la descarga del agua, son factores importantes en la ingeniería de incendios. Su valor, depende del diámetro de la tubería o manguera para formar el chorro, o de las características de diseño de las boquillas. La presión de descarga en este tipo de orificios, se determina en la práctica mediante un tubo Pitot.

La velocidad del flujo de agua por un orificio de descarga está descrita por el **Principio de Torricelli**, que es una expresión matemática derivada de la ecuación de Bernoulli. La figura 8.1.3.1 muestra lo que el principio de Torricelli establece. El principio se basa en el caso de un tanque a presión atmosférica (abierto), que se encuentra lleno de agua hasta cierto nivel y además, posee un orificio a una distancia h con respecto de la superficie del agua. Aplicando la ecuación de Bernoulli al problema planteado se tiene:

Figura 8.1.3.1. Tanque con orificio



$$\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} + z_0 = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1$$

Si: $p_0 = p_1$, $v_0 = 0$, $z_0 = 0$, $z_1 = h$ y $v_1 = v$

entonces:

$$h = \frac{v^2}{2g} \quad \therefore \quad V = \sqrt{2gh} = C_d \sqrt{2gh}$$

donde $C_d = C_c C_v$

De donde V es la velocidad de flujo en la descarga de agua, g es la aceleración de la gravedad, h es la distancia existente entre la superficie del agua y el orificio en el tanque y C_v es un coeficiente de descarga determinado por los coeficientes de contracción y velocidad. Los coeficientes se utilizan porque el flujo de agua depende directamente de la forma que tenga el orificio, por lo tanto, estos coeficientes tienen distintos valores dependiendo del orificio que se trate. La ecuación de Torricelli supone un orificio perfectamente circular, con superficie completamente lisa y con el mismo diámetro en toda su extensión, de modo que no exista variación alguna de flujo ni presión debida a la forma del orificio. Entonces los coeficientes de velocidad, contracción y descarga, se traducen como una medida de la desviación que existe en el flujo debida a la forma del orificio y por ello, para la ecuación original de Torricelli, C_d es igual a 1.

Recordando de la ecuación flujo volumétrico que se define como $Q = A V$, sustituyendo en ella la ecuación de Torricelli y reorganizando la ecuación resultante para que quede en términos más sencillos de aplicar prácticamente, se obtiene la siguiente expresión:

$$Q = A V$$

$$\text{Si } V = C_d \sqrt{2gh}, \quad h = \frac{P}{\gamma} \quad \text{y} \quad A = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$\text{entonces } Q = 29.8 D^2 C_d \sqrt{P}$$

Donde Q es el flujo de agua que se descarga en galones por minuto (**gpm**), D es el diámetro del orificio o salida en pulgadas (**in**), p es la presión de descarga del agua en libras por pulgada cuadrada (**psi**) y C_d es el coeficiente de descarga del orificio basado en la geometría

que éste tiene en la salida. Esta ecuación puede ser utilizada para determinar el flujo a la descarga de un hidrante, rociador o cualquier orificio abierto a la atmósfera. El **factor K** del rociador de hecho, considera tanto el coeficiente de descarga del rociador, como el diámetro de su orificio y otros factores geométricos de su patrón de descarga, por lo que la ecuación para determinar el flujo de un rociador es la siguiente:

$$q = K\sqrt{P}$$

8.2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

El diseño de sistemas de rociadores debe seguir una metodología para definir el riesgo a proteger y elaborar los cálculos hidráulicos, que permitan dimensionar y dar forma al sistema. Existen diversos métodos para diseñar sistemas de rociadores, sin embargo aquí sólo se describirá el método **área-densidad** de acuerdo con la norma NFPA 13.

El proceso de diseño de sistemas de rociadores contra incendio, consta de tres etapas principales:

- 1) La **Base de Diseño**.
- 2) El **Diseño Conceptual**.
- 3) Los **Cálculos Hidráulicos**.

La **Base de Diseño** del sistema consiste en establecer los lineamientos normativos bajo los que el sistema será diseñado, así como determinar el tipo de sistema más adecuado para proteger el riesgo, las características hidráulicas y el tipo de rociadores que utilizará el sistema. Es decir, se define numéricamente la forma conceptual del sistema con información básica que posteriormente sirve para el diseño conceptual y los cálculos hidráulicos.

El **Diseño Conceptual** del sistema no es más que una traducción gráfica y preliminar de cómo será conformado el sistema, utilizando para ello los parámetros de diseño que se establecieron en la base de diseño. Se determina una distribución adecuada de los rociadores en el área a proteger, se delimita la posible ruta que deberá seguir la tubería para

interconectar todos los rociadores, se definen los nodos hidráulicos de la red y se determinan algunos parámetros previos que servirán de base para dimensionar el sistema.

El desarrollo de los **Cálculos Hidráulicos** permite dar una dimensión a la red de tubería que conducirá el agua desde el punto de conexión del suministro, hasta la descarga del rociador que se activó. Lo anterior se logra mediante la determinación del número de rociadores en operación, el número total de rociadores que se instalarán, la distribución de los rociadores y las tuberías, el flujo de agua del sistema, las caídas de presión en el sistema debidas a la fricción y las condiciones de flujo y presión en el punto de suministro del sistema.

8.2.1. BASE DE DISEÑO

La base de diseño de un sistema de rociadores para protección contra incendios, consta de los siguientes pasos:

- 1) El primer paso es determinar la **normatividad** bajo la que se diseñará el sistema. Existe una gran diferencia entre utilizar normatividad de NFPA en comparación con la normatividad BS, por ejemplo. Por otro lado, las diferencias entre la edición anterior y la más actualizada de una misma norma, pueden ser importantes y haber cambiado en ocasiones por completo. Así que es importante primero establecer la normatividad de diseño.
- 2) Posteriormente se debe determinar la **clasificación del riesgo** que se va a proteger. Este paso es determinante en el proceso de diseño de sistemas de rociadores. Si el riesgo es subestimado, es posible que los rociadores sean vencidos por el fuego, resultando probablemente en una gran pérdida de bienes materiales o de vidas humanas.
- 3) El siguiente paso es determinar el **tipo de sistema** de rociadores más adecuado. Para ello se deben considerar aspectos tanto ambientales como ocupacionales del recinto que se desea proteger. Por ejemplo, si el local a proteger resulta ser un almacén de archivos con información muy importante, el sistema ideal para protegerlo sería un sistema de rociadores de preacción, debido a que éste sólo funciona cuando se tiene una confirmación del evento a través del sistema de detección. Lo anterior ayuda a que antes de que el sistema se active y el agua comience a salir por los

rociadores, se tenga un tiempo para confirmar la existencia del siniestro o si se trata de una falsa alarma y así, poder abortar o no la activación del sistema.

- 4) Determinar el **área total** de protección del sistema. Es importante conocer las dimensiones generales del local o área a proteger tal como la superficie total y la altura del techo. Existe algunas restricciones normativas para el uso de los rociadores dependiendo de extensión en superficie que se quiera proteger. La NFPA 13 ed. 2007 por ejemplo, establece en el numeral 8.2.1 que el área máxima de protección de un sólo sistema de rociadores no debe exceder los 52,000 pies² (4,833 m²), para ocupaciones clasificadas como de Riesgo Ligero.
- 5) Definir el **área de operación** de los rociadores (o área de diseño) y con ello la **tasa (o densidad) de aplicación** de agua que requiere el área a proteger. En diversas ocasiones, la normatividad establece estos dos parámetros o al menos, uno de los dos. Es importante definir un área de diseño, ya que se debe partir de la suposición de que **no todos** los rociadores del sistema se activan al presentarse un incendio a menos que, se trate de un sistema de rociadores de diluvio. Entiéndase entonces, que el área de diseño será protegida por un numero de rociadores que se supone serán activados. Por lo tanto, al desarrollar el cálculo hidráulico del sistema, sólo es necesario calcular el flujo de los rociadores que se encuentren dentro del área de diseño.
- 6) Seleccionar el **tipo de rociador** que se instalará en el área a proteger. Se sugiere que para seleccionar el rociador más adecuado para el sistema, se consulten catálogos de proveedores que aseguren una buena calidad del producto y, tal como lo establece la norma NFPA13, que los rociadores que ofrecen sean listados y/o aprobados para su uso en sistemas de protección contra incendios. La selección del tipo de rociador debe considerar los siguientes aspectos:
 - a. Los **factores ambientales** bajo los que el sistema se encontrará. Es importante verificar por ejemplo, la temperatura ambiental máxima que se tendrá justo debajo del techo. En numerosas ocasiones, este aspecto se deja de lado, ocasionando que algunos de los rociadores del sistema ya instalado, se activen sin necesidad de haber un incendio, debido simplemente a la temperatura ambiental. Por otro lado, si el techo del recinto que se protegerá, es un techo de lámina que no tiene protección térmica, la temperatura suele ser más alta justo debajo del techo que a

nivel de piso. Por eso, los rociadores cuentan con una clasificación de temperatura que incluso, considera la temperatura ambiental justo debajo del techo. Por lo tanto, es importante seleccionar un rociador que se active a una temperatura mayor a la del techo.

b. Los factores ocupacionales del lugar a proteger. Existe una gran diversidad de rociadores en el mercado, inclusive existen rociadores “invisibles” que pueden instalarse empotrados en el techo (si se trata de techo de plafón) para ocupaciones donde el aspecto estético es una prioridad para el diseño. También existen rociadores diseñados específicamente para instalarlos en correccionales o edificios de detención, estos cuentan con una protección física alrededor que es irrompible e inaccesible para los criminales. Por otro lado, también se puede definir la orientación en la que se instalará el rociador considerando las actividades que se realicen en el área. En una bodega donde se almacene producto en racks muy altos por ejemplo, es común ver que los rociadores corren peligro de ser activados o rotos por las maniobras de almacenaje que se realizan con ayuda de montacargas, por lo que es preferible utilizar rociadores montantes en lugar de colgantes en este tipo de ocupaciones.

c. La Clasificación del Riesgo. Este factor es muy importante, ya que si la clasificación del riesgo es de Riesgo Extra por ejemplo, es posible utilizar rociadores de respuesta rápida o rociadores de supresión temprana de respuesta rápida, conocidos como ESFR (early suppression fast response). Si por el contrario, la clasificación es de Riesgo Ligero, el rociador estándar es ideal para proteger dicha ocupación. Por otro lado, si se trata de una bodega de almacenamiento de grandes dimensiones, es posible utilizar rociadores de gota gorda por ejemplo.

7) Por último se define le **presión mínima de diseño** del sistema. Para elaborar los cálculos hidráulicos, se requiere conocer o definir una presión base de operación de los rociadores, ya que el procedimiento de cálculo sigue una dirección contraria al flujo de agua real. La presión de diseño del sistema, es un parámetro de operación que puede ser definido en muchas ocasiones por una autoridad competente, o simplemente se puede encontrar como un parámetro establecido en la normatividad de diseño.

Para comprender mejor el proceso de diseño de un sistema de rociadores, se plantea el problema 8.2.1.1, que consiste en lo siguiente:

Problema 8.2.1.1. *Se desea proteger el almacén de producto terminado, en una planta de producción de sal, el cual se utilizaba como salón para capacitación. El almacén tiene 25 m (82 ft) de largo, 20 m (67 ft) de ancho y 5 m (16.4 ft) de altura. Es un edificio con paredes y techo de concreto armado, que son consideradas como barreras cortafuego y por lo tanto, se puede suponer confinación del incendio solamente a dicha área. La temperatura máxima del techo registrada supera los 40°C. El producto terminado puede ser empacado en bolsas o botes de plástico, que posteriormente se colocan en cajas de cartón, las cuales son apiladas en tarimas de madera para ser empleadas en unidades de carga. Determinar el mejor diseño para un sistema de rociadores de tubería húmeda que proteja dicho almacén, bajo los lineamientos de la norma NFPA 13 edición 2007 y utilizando el método área-densidad. Considérese que no existen obstrucciones al patrón de descarga de los rociadores.*

El problema planteado ya establece la normatividad bajo la cual se deberá diseñar el sistema de rociadores (NFPA 13 ed. 2007), así como el tipo de sistema que se deberá instalar en el almacén, por lo tanto, ya no es necesario definir estos parámetros.

1. La norma de protección contra incendios que se utilizará como base para diseñar el sistema es la **NFPA 13 en su edición 2007**, de acuerdo con lo establecido en el problema 8.2.1.1 (paso 1).
2. La determinación de la clase del riesgo (paso 2) en este caso, debe hacerse de acuerdo con el tipo de mercancía y el tipo de empaque que tiene la mercancía. Se debe analizar el caso desde la óptica de que se trata de un almacén de sal, producto no inflamable cuyo empaque sí lo es. Es decir, en este caso el producto (sal) no presenta peligro de incendio sino su empaque, las bolsas y los botes de plástico, así

como las cajas de cartón y el emplayado plástico que las recubre. Si el método de diseño fuera de elección libre, la clasificación ideal de este local sería *Ocupación con Mercancía Clase II*, de acuerdo con el apartado 5.6.3 de la NFPA 13 ed. 2007 (apartado 7.2 del presente documento). Sin embargo, el problema 8.2.1.1 limita la clasificación del edificio al señalar que se utilice el método área-densidad, por lo tanto la clasificación deberá ser distinta.

El apartado A.5.3 del anexo de NFPA 13, menciona que de acuerdo con la definición de los riesgos en las ocupaciones en su capítulo 5, deberá considerarse que las mercancías Clase I, II, III y IV producen fuegos con tasas de liberación de calor moderadas. Por lo tanto, la clasificación correcta es ***Ocupación de Riesgo Ordinario del Grupo 2***, de acuerdo con el apartado 5.3.2 de la misma edición de NFPA 13.

3. El tipo de sistema más adecuado para proteger este riesgo es un ***sistema de tubería húmeda***. Sin embargo, este parámetro ya había sido definido por el problema 8.2.1.1, con lo que se puede confirmar una buena elección en el tipo de sistema (*paso 3*).
4. El siguiente paso es determinar la superficie total con la que cuenta el local (*paso 4*). Considerando las dimensiones mencionadas en el problema 8.2.1.1, se calcula como sigue:

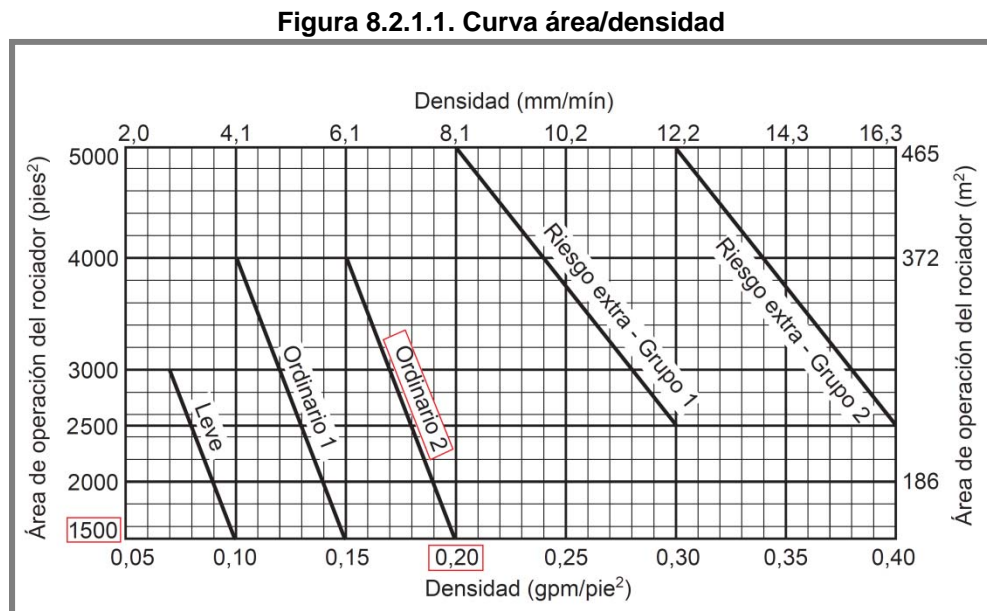
$$A = L \times a, \text{ si } L = 25 \text{ m y } a = 20 \text{ m, entonces } A = 25 \times 20$$
$$A = 500 \text{ m}^2 \cong 5,379 \text{ pies}^2$$

La superficie total del almacén es de ***500 m² (5,379 pies²)***.

5. Ahora se tiene que definir el área de diseño y la tasa (densidad) de aplicación de agua (*paso 5*). En este caso, la norma NFPA 13 cuenta con una gráfica de área/densidad que debe utilizarse, de ahí que el método se llame área-densidad. La gráfica mencionada puede consultarse en la figura 8.2.1.1.

La figura 8.2.1.1 muestra una serie de curvas que representan una relación entre el área de operación del sistema de rociadores, y la tasa (densidad) de aplicación de agua que debe utilizarse para diseñar el sistema, dependiendo de la clasificación que tenga la ocupación. Por ejemplo, para el problema 8.2.1.1 se deberá utilizar la curva titulada **Ordinario 2**, ya que corresponde a una clasificación de ocupaciones de **Riesgo Ordinario del Grupo 2**.

El concepto de área de diseño, debe entenderse como la porción de la superficie total a proteger que definirá el número de rociadores que deben operar para dimensionar el sistema. Debido a que dicha porción de superficie debe ser sólo representativa, se puede considerar el valor mínimo que la gráfica indica a menos que, la norma especifique en alguno de sus apartados que deba de utilizarse un área de diseño mayor. Por lo tanto, para resolver el problema planteado, el área de diseño deberá ser de **1,500 ft² (139 m²)**, ya que este valor es el mínimo para la curva **Ordinario 2** de la gráfica 8.2.1.1.



Fuente: NFPA 13, Norma para la instalación de Sistemas de Rociadores, Ed. 2007

Si la norma estableciera en alguno de sus apartados, que deba utilizarse una superficie de diseño mayor a la mínima especificada en la gráfica, entonces la tasa (densidad) de aplicación de agua que debería utilizarse, es el valor que corresponda en el eje horizontal (densidad de aplicación), al intersectar una línea recta que vaya

desde el valor del área de diseño establecida en el eje vertical, con la curva correspondiente a la clasificación de la ocupación. En el caso del problema 8.2.1.1, la tasa de aplicación que corresponde a un área de diseño de 1,500 ft² es de **0.2 gpm/ft²**.

La **densidad o tasa de aplicación** de agua, se define matemáticamente como el flujo de agua que se debe aplicar por unidad de superficie de incendio, para extinguirlo. Es por eso que tiene unidades de flujo entre superficie, es decir, galones por minuto por pie cuadrado o en el SI, litros por minuto por metro cuadrado. En el presente documento, se utilizará la nomenclatura: **lpm/m²** para referirse a las unidades en el SI de la densidad de aplicación de agua, sólo para facilitar su identificación.

6. Ahora, debe seleccionarse el tipo de rociadores que se instalarán en el sistema para funcionar adecuadamente (*paso 6*). Para el caso en estudio, el rociador de respuesta rápida es el más adecuado para proteger el riesgo, ya que este tipo de rociadores son ideales para proteger sitios donde la combustibilidad sea alta. La posición más adecuada para instalar los rociadores es montante (hacia arriba), ya que por ser un área de almacenamiento donde seguramente se realizarán maniobras mediante montacargas, los rociadores podrían encontrarse bajo riesgo físico.

La clasificación de la temperatura más adecuada para el rociador es de **temperatura intermedia**, ya que de acuerdo con la tabla 6.2.5.1 de la norma NFPA 13 ed. 2007, estos rociadores trabajan con temperaturas máximas del techo de 66 °C, mientras que los rociadores de *temperatura ordinaria* trabajan máximo a 38 °C en el techo. La temperatura máxima del techo del almacén, es de 40 °C.

7. Por último (*paso 7*), se requiere establecer la presión mínima de diseño del sistema. Para este caso en particular, la norma NFPA 13 ed. 2007 en su apartado 22.4.4.10, establece que la presión mínima de operación de cualquier rociador en el sistema deberá ser de **7 psi (0.49 kg/cm²)**, por lo tanto, esta será la presión mínima de diseño del sistema.

Tabla 8.2.1.1. Resumen hidráulico

PASO	PARÁMETRO	VALOR
1	Norma de diseño:	NFPA 13, 2007
2	Clasificación Riesgo:	Ordinario Grupo 2
3	Tipo de sistema:	Tubería húmeda
4	Área de diseño:	1,500 ft ²
5	Tasa de aplicación:	0.2 gpm/ft ²
	Área total a proteger:	4,510 ft ²
6	Tipo de Rociador:	ESFR, montante, temperatura intermedia
7	Presión mínima diseño:	7 psi

Hasta este punto, el trabajo para definir la base de diseño ha llegado a su término. A manera de mostrar un resumen con la información básica de diseño que hasta el momento se determinó, es que se presenta la tabla 8.2.1.1.

8.2.2. DISEÑO CONCEPTUAL

Antes de comenzar a realizar los cálculos hidráulicos de una red de rociadores, es necesario realizar una serie de actividades previas que facilitarán en gran medida el proceso de cálculo. Estas actividades producirán una información que servirá para realizar un diseño conceptual del sistema, es decir, un diseño preliminar que posteriormente se mejora y optimiza con los cálculos hidráulicos. Las actividades previas a realizar se enlistan en orden de prioridad siguiente:

- 1) Determinar el **espaciamiento** entre rociadores más adecuado.
- 2) Calcular el **número total de rociadores** para instalar.
- 3) Proponer gráficamente en un diagrama, la **distribución de los rociadores**.
- 4) Calcular el **área de cobertura** por cada rociador.
- 5) Determinar el **número de rociadores en operación**.
- 6) Definir el **área hidráulicamente más desfavorable**.
- 7) Realizar un **diagrama de nodos** hidráulicos de la red de tuberías.
- 8) Determinar el **factor K** del rociador hidráulicamente más desfavorable.

Para ejemplificar los pasos a seguir en el proceso de cálculo, se continuará considerando el problema 8.2.1.1. Tomando en consideración que la NFPA 13 establece en su apartado

8.12.2.2.1 de la edición 2007, que cuando se intenta proteger un edificio cuyos elementos constructivos son de materiales incombustibles y no existen obstrucciones que eviten una aspersión adecuada del agua, entonces el área de cobertura máxima de los rociadores tipo ESFR es de 100 ft^2 (9.3 m^2), mientras que el espaciamiento máximo entre rociadores debe ser de 12 ft (3.7 m).

1. El espaciamiento máximo entre rociadores que conviene considerar para distribuirlos (*paso 1*), es la distancia resultante del área de cobertura máxima, suponiendo que se trate de un área cuadrada, entonces:

$$\text{Si } A = L^2, \text{ entonces } L = \sqrt{A}$$

$$\text{Sustituyendo: } L = \sqrt{100 \text{ ft}^2} \therefore L = 10 \text{ ft} \cong 3 \text{ m}$$

El espaciamiento máximo entre rociadores a considerar es de **3 m (10 ft)**. Recordando el problema 8.2.1.1, el almacén a proteger se trata de un área rectangular de 20 m (65.6 ft) de ancho por 25 m (82 ft) de largo, entonces se puede proponer una distribución de la siguiente manera:

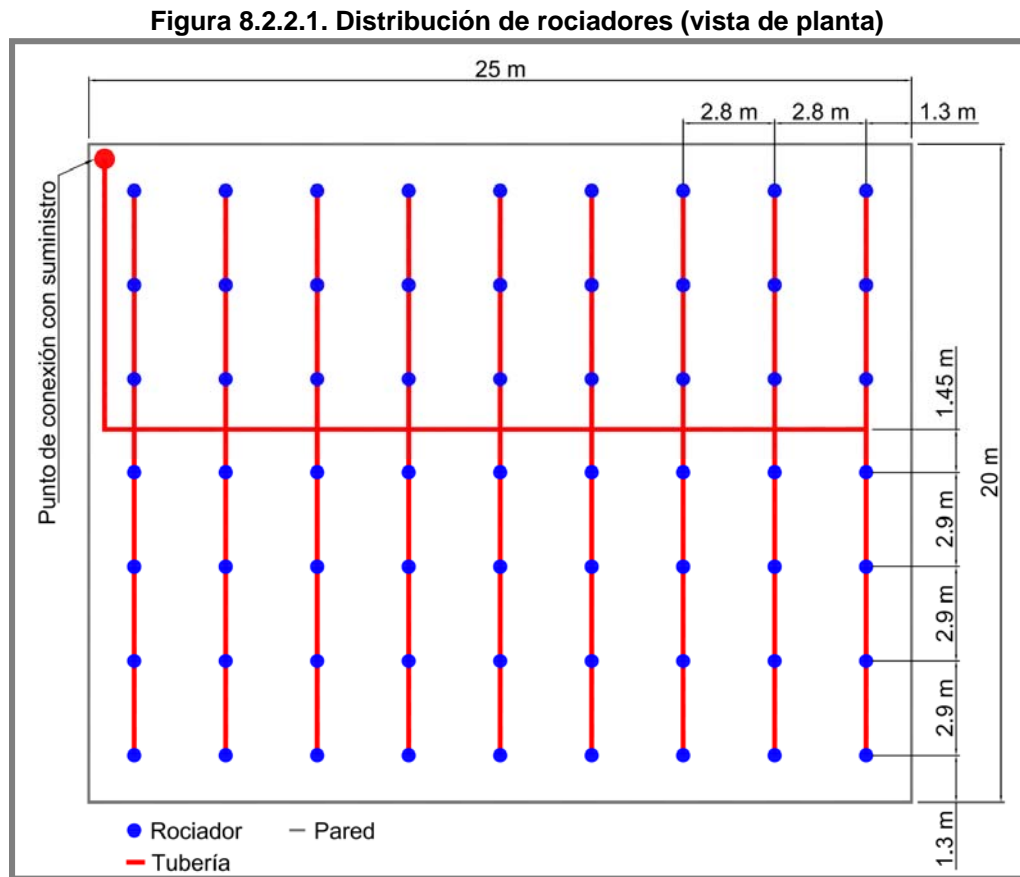
$$\frac{20 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 6.67 \cong 7 \text{ rociadores a lo ancho}$$

$$\frac{25 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 8.3 \cong 9 \text{ rociadores a lo largo}$$

Cualquier fracción numérica deberá aproximarse al número entero inmediato superior, ya que se trata de una cantidad que representa número de artículos y no una cifra matemática.

2. Con la información anterior, se puede determinar el número de rociadores que se deberán instalar en total (*paso 2*), ya que si se multiplican 7 rociadores a lo ancho por 9 rociadores a lo largo, se obtiene la cantidad en total de rociadores que es **63**.

3. Sin embargo, también es necesario realizar una propuesta de distribución de los 63 rociadores, que se logra realizando un diagrama de vista de planta, para que de manera gráfica se encuentre la distribución espacial más adecuada (paso 3), sin olvidar los límites máximos de espaciamento que establece la norma NFPA 13. La mejor distribución de los rociadores que se encontró, puede consultarse en la figura 8.2.2.1.



En la figura se puede observar que finalmente la distribución de los rociadores resultó en un espaciamento entre sí de **2.8 m (9.2 ft)** horizontalmente y 2.9 m (9.5 ft) de forma vertical, así como que todos los rociadores cercanos a la pared se encuentran a una distancia de **1.3 m (4.3 ft)** con respecto a la misma.

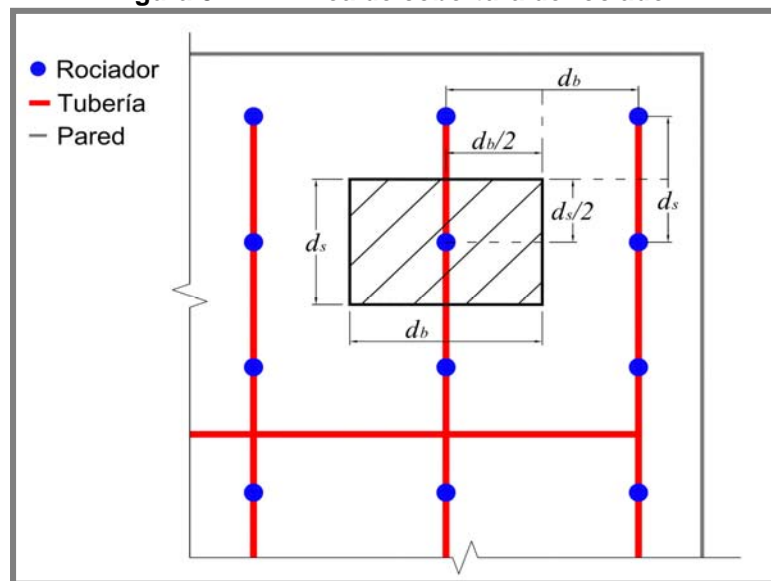
Recordando que la NFPA 13 permite que el espaciamento máximo entre rociadores sea de 3.7 m (12 ft), entonces esta distribución de rociadores cumple con la norma. Por otro lado, la NFPA 13 ed. 2007, en sus apartados 8.12.3.2 y 8.12.3.3, menciona

que la distancia máxima a la que debe colocarse un rociador con respecto a la pared, debe ser no mayor a la mitad de la distancia máxima permitida entre rociadores, mientras que la distancia mínima a la pared debe ser no menos de 4 in (10.2 cm). Por lo tanto, esta distribución también cumple con la norma en este aspecto.

4. Con las dimensiones anteriores se calcula el área de cobertura por cada rociador (paso 4). Si se definen las dimensiones d_b como la distancia entre ramales de tubería (espaciamiento horizontal) y d_s como la distancia entre rociadores (espaciamiento vertical), entonces se puede definir el área de cobertura del rociador como A_s , que gráficamente se muestra en la figura 8.2.2.2 y, matemáticamente se define como:

$$A_s = d_b \times d_s$$

Figura 8.2.2.2. Área de cobertura de rociador



Por lo tanto, el área de cobertura que los rociadores protegen después de haberlos distribuido adecuadamente, es de **8.1 m² (87.1 ft²)** y, se calcula como sigue sustituyendo en la expresión matemática anterior:

$$A_s = 2.8 \text{ m} \times 2.9 \text{ m} = 8.1 \text{ m}^2$$

5. Considerando entonces dicha área de cobertura por rociador y el área de diseño que se estableció en la sección anterior, que debe ser 1,500 ft², entonces el número de rociadores que deberán abrir en total se calcula como (paso 5):

$$\frac{1,500 \text{ ft}^2}{87.1 \text{ ft}^2/\text{rociador}} = 17.22 \cong 18 \text{ rociadores}$$

De acuerdo con el cálculo anterior, el número de rociadores en operación es de **18 rociadores**.

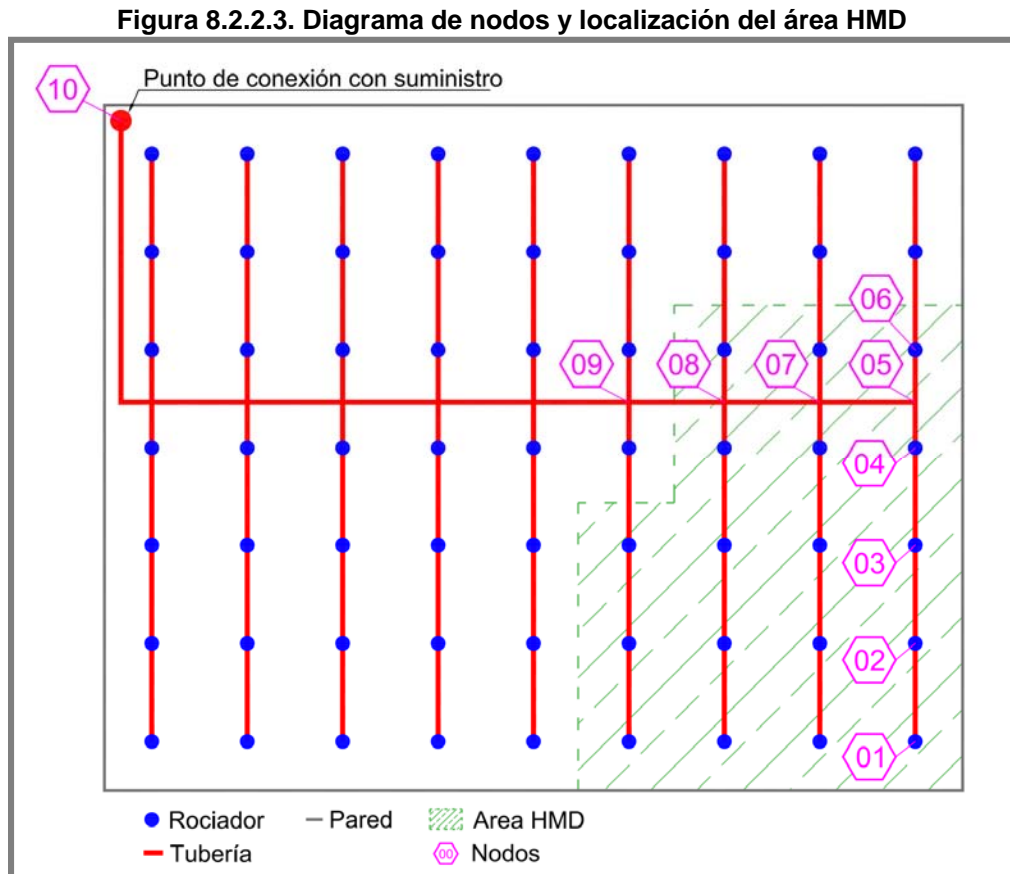
6. Luego de haber calculado el número de rociadores que deberán abrir, se debe definir gráficamente el área de diseño que se determinó en la sección anterior, ya que pasará a ser el área hidráulicamente más desfavorable (HMD) (paso 6). Comúnmente dicha área se ubica físicamente en el punto más alejado respecto del suministro de la red, sin embargo, si el caso lo requiere, deberá realizarse un análisis para ubicarla adecuadamente. En el caso de estudio en particular, para definir la ubicación del área HMD, la norma NFPA 13 ed. 2007 establece en su apartado A.22.4.4, que debe utilizarse la siguiente expresión matemática para calcular el número de rociadores que deberán abrir por cada ramal de tubería:

$$N_b = \frac{1.2 \times \sqrt{A_d}}{d_s}$$

De donde N_b es el número de rociadores que deben abrir por cada ramal, A_d es el área de diseño calculada mediante la gráfica área-densidad y d_s es el espaciamiento entre rociadores definido en el arreglo de distribución. Sustituyendo los valores correspondientes del área de diseño que es de 1,500 ft² (139 m²) y espaciamiento entre rociadores que es de 9.5 ft (2.9 m) en la expresión anterior, se tiene:

$$N_b = \frac{1.2 \times \sqrt{1,500}}{9.5} = 4.87 \cong 5 \text{ rociadores}$$

Por lo tanto el área HMD deberá ser un área que corresponde al área de cobertura de 18 rociadores, de los cuales deberán abrir 5 rociadores en los tres ramales más alejados y en un único ramal deberán abrir sólo 3. La figura 8.2.2.3 muestra como quedaron finalmente definida el área HMD y localizados los rociadores que abrirán.



- Ahora se puede dar paso al proceso de ubicar nodos hidráulicos a lo largo de la red propuesta, así como de elaboración del diagrama de nodos (*paso 7*). El **nodo** en una red de tuberías, es un punto en el que exista un cambio de dirección en el flujo de agua, un cambio de diámetro en la tubería, una salida de agua o incluso un cambio de material de la tubería. De forma general, se define al nodo como un punto donde las condiciones de flujo o presión o ambas, cambian en la red.

El **diagrama de nodos**, es una representación gráfica donde se muestra la ubicación de dichos cambios a través de los nodos hidráulicos de la red, y el cual ayudará a describir el camino que seguirá el agua para facilitar el proceso de cálculo.

Es recomendable que los nodos sigan un cierto orden lógico para identificarlos de forma sencilla cuando se realicen los cálculos hidráulicos, de modo que se pueda identificar al rociador hidráulicamente más remoto (HMD) como el nodo 01, el siguiente como el 02 y así sucesivamente hasta el punto de conexión con el suministro. El arreglo propuesto podría tener entonces una numeración de nodos tal como se muestra en la figura 8.2.2.3.

8. Por último, es necesario establecer el factor K de descarga de los rociadores (*paso 8*), para ello deben utilizarse algunas de las bases de diseño que se establecieron en la sección anterior. La presión mínima de operación con la que se diseñará el sistema es de 7 psi (0.49 kg/cm²), el área de diseño del sistema es de 1,500 ft² (139 m²) y la densidad de aplicación de agua deberá ser no menor de 0.20 gpm/ft² (8.1 lpm/m²). Por otro lado, el flujo mínimo que debe de descargar el sistema en el área de diseño, se puede determinar de la siguiente manera:

$$Q = A_D \times d = 1,500 \text{ ft}^2 \times 0.20 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2} = 300 \text{ gpm}$$

De donde Q es el flujo mínimo que el sistema debe descargar sobre el área de diseño, A_D es el área de diseño y d es la densidad de aplicación de agua. Entonces, el sistema deberá ser capaz de manejar un flujo mínimo de 300 gpm (1,135 lpm), esto quiere decir que los 18 rociadores que se considerarán en los cálculos hidráulicos, deberán ser capaces de descargar ese flujo como mínimo. Por lo tanto, si se divide el flujo mínimo del sistema (300 gpm) entre el número de rociadores en operación (18 rociadores), se obtiene que al menos cada uno deberá descargar un flujo de **16.67 gpm (63.1 lpm)**.

Si se recuerda que la ecuación para determinar el flujo de un rociador es $q = K \sqrt{P}$, de donde q es el flujo del rociador, K es el factor de descarga del rociador y P es la presión de operación del rociador entonces, despejando de dicha ecuación el factor K y sustituyendo los valores de q y P , se tiene:

$$q = K\sqrt{P} \rightarrow K = \frac{q}{\sqrt{P}} \therefore K = \frac{16.67 \text{ gpm}}{\sqrt{7 \text{ psi}}} = 6.3 \frac{\text{gpm}}{\text{psi}^{1/2}}$$

El factor K calculado es de **6.3 gpm/psi^{1/2}** sin embargo, es importante que siempre que se determina dicho factor, posteriormente se haga una selección del factor K nominal más adecuado, ya que comercialmente sólo existen disponibles rociadores con ciertos valores nominales. Se recomienda elegir un factor que sea mayor al determinado mediante cálculos, ya que con esto se puede asegurar que nunca se tendrá una deficiencia en la cantidad de agua para extinguir el incendio. La elección de un factor K mayor al determinado, traerá consigo un incremento en la cantidad de agua que se descarga por el rociador, por lo tanto, también es importante considerar esto al dimensionar las tuberías del sistema.

Si se consulta la tabla 7.3.1.1 de la sección 7.3.1, el factor K nominal inmediato superior al calculado es de **8.0 gpm/psi^{1/2}** por lo tanto, para realizar los cálculos hidráulicos, se deberá considerar éste como el factor K de los rociadores.

Hasta este punto, se ha concluido con el trabajo de diseño conceptual que permitirá realizar los cálculos para el dimensionamiento del sistema. Ya se cuenta con una propuesta de distribución de los rociadores e incluso, con un diagrama de nodos que ayudará en el proceso de cálculo.

8.2.3. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

En esta sección, se elaborarán los cálculos correspondientes a las pérdidas de presión por fricción en la red de rociadores, para dimensionar el diámetro de las tuberías. Para ello no se debe olvidar que la NFPA 13 ed. 2007 en su apartado 2.4.2.1.1, establece que los cálculos de pérdidas de presión por fricción de la tubería, deberán elaborarse utilizando la ecuación de Hazen-Williams. Sin embargo, la misma norma permite el uso de otras ecuaciones o metodologías siempre y cuando, la autoridad competente esté de acuerdo con ello.

Al realizar los cálculos para dimensionar la red, es necesario comenzar desde la descarga de agua del rociador hidráulicamente más desfavorable (HMD), hasta el punto de conexión con el suministro, es decir, en dirección contraria al flujo del agua.

Algunos de los cálculos que se realizan para dimensionar el sistema, son muy repetitivos por lo que conviene establecer una metodología de cálculo para comprenderlos mejor. De forma general, los cálculos hidráulicos pueden seguir el algoritmo de cálculo presentado en la figura 8.2.3.1 sin embargo, cada sistema a diseñar es diferente y puede haber variación en la secuencia de cálculo mostrada, es decir, que dicho algoritmo de cálculo no debe ser considerado como una metodología única.

En la sección 8.2.1, se estableció el problema 8.2.1.1 para tomarlo como ejemplo y describir las bases de diseño para un sistema de rociadores, mientras que en la sección 8.2.2 se utilizó el mismo problema para ejemplificar el proceso de diseño conceptual. Para comprender de una mejor manera el proceso de cálculo, en esta sección también se considerará el problema 8.2.1.1 para ejemplificar sus distintas etapas.

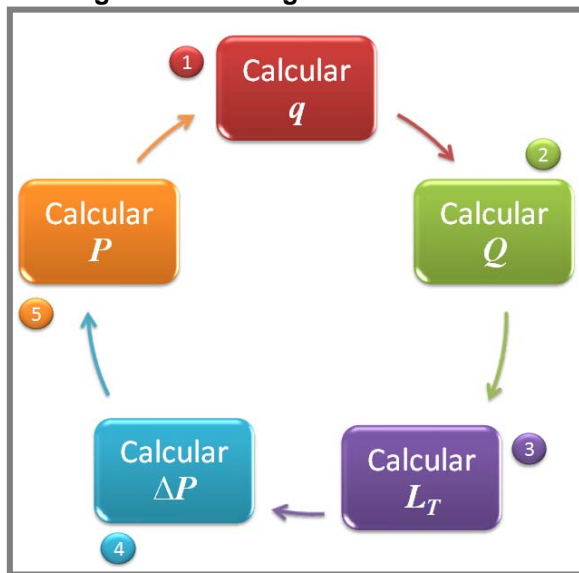
El **algoritmo de cálculo** que se propone, sugiere que como primer cálculo se determine el flujo del rociador q , para que posteriormente se calcule el flujo de agua Q en el tramo de tubería que corresponda. Luego, es necesario determinar la longitud total L_T de tubería lineal, mediante las longitudes equivalentes de accesorios y longitud real de la tubería comprendida en el tramo. Con los parámetros anteriores y utilizando la ecuación de Hazen-Williams, se calculan entonces las pérdidas de presión por fricción ΔP . Por último, es posible determinar la presión P en el nodo final del tramo de tubería que se trate.

El proceso de cálculo resulta en un gran número de datos importantes que, si no se sigue un orden en su ejecución, podría llegarse a una probable confusión, por lo tanto conviene tener a la mano una herramienta tal como una hoja de cálculo, donde puedan anotarse los resultados que se van obteniendo.

En esta sección se presenta una propuesta de hoja de cálculo (tabla 8.2.3.1) que, es una modificación de una hoja propuesta en el apartado A.22.3.2 de la NFPA 13 ed. 2007. En ella,

se puede observar que se contiene un pequeño resumen con los parámetros definidos, tanto en la base de diseño como en el diseño conceptual para que, al realizar los cálculos puedan consultarse de forma rápida.

Figura 8.2.3.1. Algoritmo de cálculo



Los cálculos se encuentran divididos en diferentes pasos, identificados en la primera columna con un número progresivo. Cada paso contiene los cálculos correspondientes al tramo de tubería identificado por el número de nodos (columnas 2 y 3), los cuales se llevan a cabo utilizando el algoritmo de cálculo de la figura 8.2.3.1. La siguiente columna presenta los resultados tanto del flujo de agua por rociador, como del flujo de agua en el tramo, identificados por las letras q y Q respectivamente. La columna 4 contiene el diámetro interno del tramo de tubería en cuestión, cabe señalar que con esta columna prácticamente se define el dimensionamiento de las tuberías ya que, estos valores se van cambiando conforme los resultados de pérdidas de presión lo requieran.

Las columnas 7, 8, 9 y 10 muestran los accesorios localizados en el tramo y las longitudes equivalentes de dichos accesorios. En las columnas siguientes (11 y 12) se registran la longitud equivalente total de accesorios, la longitud real de tubería y se calcula la longitud total de tubería lineal, es decir, se realiza la suma de las longitudes anteriores, identificadas por L_{EA} , L_l y L_T respectivamente.

Tabla 8.2.3.1. Hoja de Cálculos Hidráulicos

Normatividad diseño:					Clasificación riesgo:							
Tipo de sistema:					Área de diseño:							
Área total protección:					Densidad de diseño:							
Tipo de rociadores:					Flujo mínimo agua:							
Temperatura:					Presión de diseño:							
Cobertura Máx.:					Cobertura de rociador (A_s):							
Distancia Máx.:					Distancia rociadores (d_s):							
Factor descarga K:					Distancia ramales (d_b):							
REGISTRO DE RESULTADOS												
PASO NO.	NODOS		FLUJO (gpm)	DIA. (in)	LONGITUD EQ. ACCESORIOS			LONGITUD TOTAL (ft)	PÉRDIDAS FRICCIÓN (psi/ft)		SUMA PRESION (psi)	NOTAS
	INI.	FIN.			Acc.	Cant.	TOTAL (ft)		C			
1			q		Tes		L_{ET}	L_I	C		P	
					Codos		L_{EC}	L_{EA}			ΔZ	
			Q		Válvulas		L_{EV}	L_T			ΔP	
2			q		Tes		L_{ET}	L_I	C		P	
					Codos		L_{EC}	L_{EA}			ΔZ	
			Q		Válvulas		L_{EV}	L_T			ΔP	
										P		

En la columna 13 se registran los datos del factor de rugosidad **C** que se utiliza en la ecuación de Hazen-Williams y, los resultados del cálculo de pérdidas de presión por fricción por pie lineal de tubería. Las columnas 14 y 15 sirven para registrar los resultados de los cálculos de pérdidas de presión por fricción ΔP , así como de las pérdidas de presión por elevación ΔZ y finalmente la suma para obtener la presión en el tramo siguiente **P**. La última columna esta designada para describir alguna observación o criterio en particular, que se haya considerado para los cálculos en ese tramo de tubería.

Por otro lado, antes de comenzar a elaborar los cálculos hidráulicos, se debe contar con una propuesta tentativa del diámetro que podrían tener las tuberías del sistema, de acuerdo con el diseño conceptual que se tenga del mismo.

Por ejemplo: considerando un arreglo de tuberías como el presentado en el diseño conceptual de la sección 8.2.2, donde se ha determinado que sólo abrirán 5 rociadores por cada ramal y, recordando que cada rociador deberá descargar un caudal de agua de al

menos 16.67 gpm (63.1 lpm), se puede determinar entonces que cada ramal conducirá como mínimo un flujo total de 83.35 gpm de agua. Con este dato, se pueden consultar tablas de datos de flujo en tuberías como la que se presenta en el Anexo B. En ellas se muestran los diferentes flujos que son capaces de conducir las tuberías, de acuerdo con el diámetro nominal que tengan. Para el caso particular del problema en estudio, se puede observar que el caudal de 83.35 gpm (315.5 lpm), se puede conducir en tuberías de diversos diámetros sin embargo, considerando que en términos del tamaño de tubería siempre es conveniente inclinarse por el mínimo posible para disminuir costos de instalación, entonces el diámetro de tubería más adecuado para seleccionarse es el de 1 ½ pulgadas.

De esta forma, se puede establecer rápidamente una propuesta tentativa de los diámetros de las tuberías del sistema. En la figura 8.2.3.2, se muestra la propuesta preliminar de los diámetros de las tuberías, para el diseño conceptual de la sección anterior.

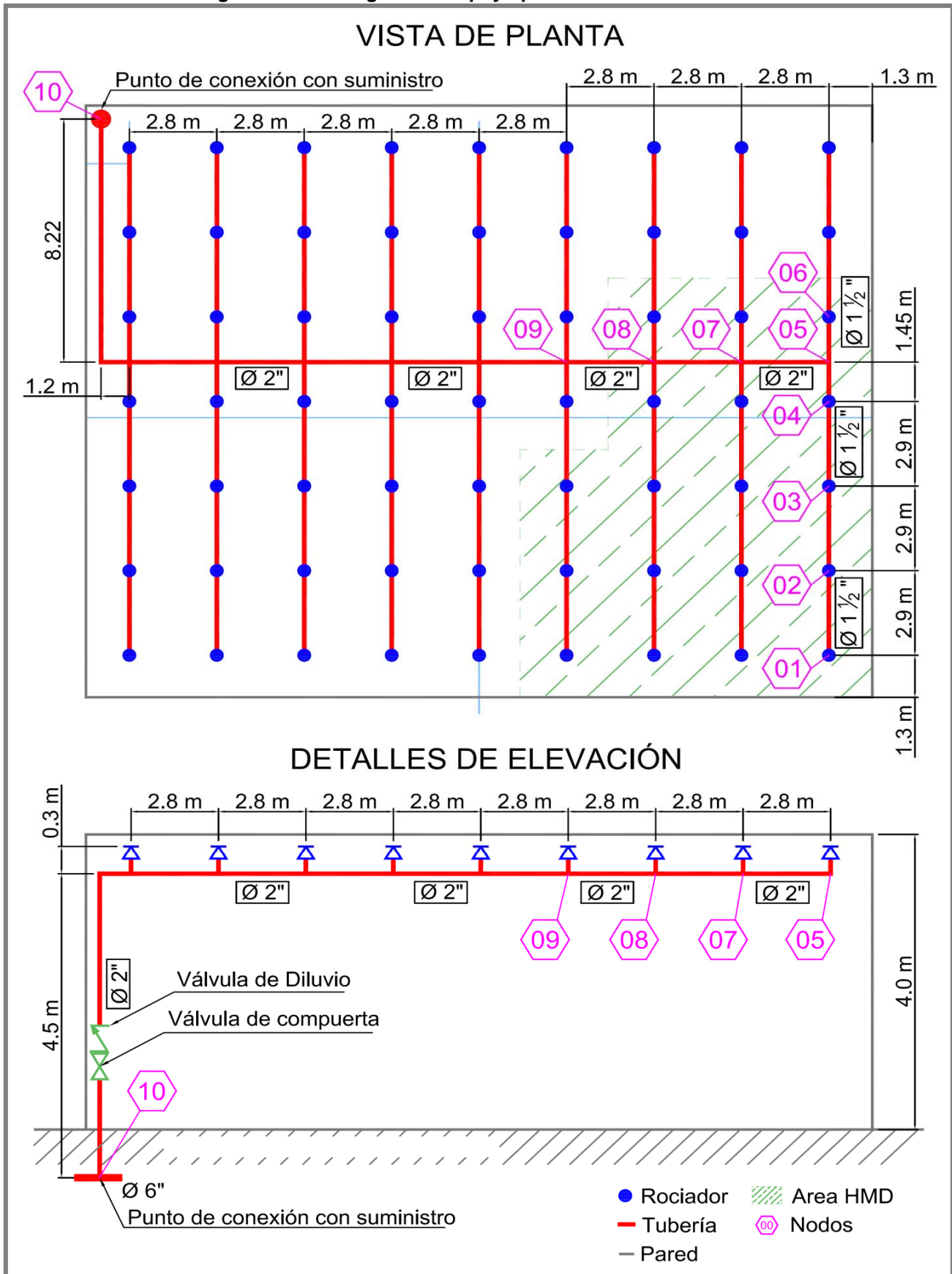
Es importante mencionar también, que antes de comenzar a calcular, se debe contar con datos técnicos de tubería con la especificación adecuada o, de acuerdo con lo que se establece en la normatividad de diseño. En el caso particular del problema 8.2.1.1, se utilizarán datos técnicos de tubería de acuerdo con la especificación **ANSI/ASME B36.10M**, ya que es una de las especificaciones de tubería permitidas por NFPA 12 ed. 2007. En la tabla 8.2.3.2, se muestran datos técnicos de algunos diámetros de tubería contenidos en dicha especificación, por lo que se recomienda consultarla cuando se revisen los cálculos hidráulicos descritos más adelante.

Tabla 8.2.3.2. Datos técnicos de tubería cédula 40

DIÁMETRO NOMINAL (in)	DIÁMETRO EXTERNO (in)	ESPEJOR (in)	DIÁMETRO INTERNO (in)
1	1.315	0.133	1.049
1 1/2	1.900	0.145	1.610
2	2.375	0.154	2.067
2 1/2	2.875	0.203	2.469
3	3.500	0.216	3.068
4	4.500	0.237	4.026
6	6.625	0.280	6.065
8	8.625	0.322	7.981

Fuente: ANSI B36.10M, Tubería de acero forjado soldada y sin costura, Ed. 2004

Figura 8.2.3.2. Diagrama de apoyo para cálculos hidráulicos



Recordando el problema 8.2.1.1 y considerando el diseño conceptual establecido en la sección 8.2.2, a continuación se describen de manera detallada los cálculos que deben realizarse para dimensionar el sistema, para ello se recomienda consultar a la par la figura 8.2.3.4 que muestra los resultados en una hoja de cálculo, así como el diagrama de la figura 8.2.3.3:

PASO NO.1 (tramo 1-2):

1. Primero se calcula el flujo de agua del primer rociador q_1 que se localiza en el **nodo 1**, considerando una presión mínima de diseño de 7 psi (0.49 kg/cm²) y un factor K de 8.0 gpm/psi^{1/2} (114.2 kg^{1/2}/cm):

$$q_1 = K \sqrt{P_1}$$

$$\text{Sustituyendo: } q_1 = 8 \times \sqrt{7}$$

$$\therefore q_1 = 21.17 \text{ gpm}$$

2. Luego se determina el flujo de agua Q_{1-2} en el tramo de tubería entre los **nodos 1 y 2**, que en este caso en particular, por ser el primer tramo de tubería, q_1 es igual que Q_{1-2} , por lo tanto:

$$Q_{1-2} = q_1 = 21.17 \text{ gpm}$$

3. Ahora se calcula la longitud total L_T de tubería lineal entre los **nodos 1 y 2**, por lo que se tienen que determinar la longitud equivalente L_{EA} de los accesorios, así como la longitud de tubería real L_t , existentes en dicho tramo. En este caso, sólo existe una te instalada en este tramo de tubería, por lo tanto la longitud equivalente de accesorios es de 8 ft (2.4 m)*. Por otro lado, la longitud real de tubería entre los nodos 1 y 2 es 10.5 ft (3.2 m). Entonces, la longitud total de tubería lineal se calcula como:

$$L_T = L_{EA} + L_t$$

$$\text{Sustituyendo: } L_T = 8 \text{ ft} + 10.5 \text{ ft}$$

$$\therefore L_T = 18.5 \text{ ft}$$

4. Posteriormente se calculan las pérdidas de presión por fricción ΔP_{1-2} , utilizando la ecuación de Hazen-Williams. Para ello se consideran los siguientes parámetros: el flujo

* La longitud equivalente de cada accesorio ha sido extraída de la figura 8.1.2.1, *Longitudes equivalentes de accesorios en pies (metros) de tubería*.

Q_{1-2} es de 21.17 gpm (80.1 lpm) y la longitud total L_T es de 18.5 ft (5.6 m). El **factor C** de Hazen-Williams que se utilizará es de 120, ya que se trata de tubería de acero y, el diámetro interno D de la tubería en este tramo es de 1.610 pulgadas. Por lo tanto, las pérdidas por fricción se calculan como:

$$\frac{\Delta P_{1-2}}{L} = \frac{4.52 Q_{1-2}^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}}$$

$$\text{Sustituyendo: } \frac{\Delta P_{1-2}}{L} = \frac{4.52 (21.17^{1.85})}{(120^{1.85}) (1.610^{4.87})}$$

$$\frac{\Delta P_{1-2}}{L} = 0.0179 \frac{\text{psi}}{\text{ft}}$$

$$\text{Multiplicando por } L_T: \Delta P_{1-2} = \frac{\Delta P_{1-2}}{L} \times L_T = \left(0.0179 \frac{\text{psi}}{\text{ft}}\right) (18.5 \text{ ft})$$

$$\therefore \Delta P_{1-2} = \mathbf{0.331 \text{ psi}}$$

5. Por último, se calcula la presión P_2 en el **nodo 2**, considerando la presión P_1 del primer rociador que es de 7 psi (0.49 kg/cm²), las pérdidas por fricción ΔP_{1-2} que resultaron igual a 0.331 psi (0.023 kg/cm²) y las pérdidas por elevación ΔZ_{1-2} . En este caso, la diferencia de elevación entre los nodos 1 y 2 es de 1 ft, por lo que la presión P_2 se calcula como:

$$\Delta Z_{1-2} = 0.433 \frac{\text{psi}}{\text{ft}} (h_1 - h_2) = \left(0.433 \frac{\text{psi}}{\text{ft}}\right) (1 \text{ ft}) = 0.433 \text{ psi}$$

$$P_2 = P_1 + \Delta P_{1-2} + \Delta Z_{1-2}$$

$$\text{Sustituyendo: } P_2 = 7 \text{ psi} + 0.331 \text{ psi} + 0.433 \text{ psi}$$

$$\therefore P_2 = \mathbf{7.76 \text{ psi}}$$

Los cálculos elaborados hasta el momento, siguieron el algoritmo de cálculo propuesto anteriormente en la figura 8.2.3.1. Los siguientes pasos de cálculo siguen prácticamente la misma metodología, por lo que ya no serán descritos tan ampliamente sin embargo, se indicarán algunas observaciones particulares que deben tomarse en consideración.

PASO NO.2 (tramo 2-3):

1. Calculando q_2 :

$$q_2 = K \sqrt{P_2}$$

$$\text{Sustituyendo: } q_2 = 8.0 \frac{\text{gpm}}{\text{psi}^{1/2}} \times \sqrt{7.76 \text{ psi}}$$

$$\therefore q_2 = \mathbf{22.29 \text{ gpm}}$$

2. Calculando Q_{2-3} : en este caso, el flujo de agua en el tramo de tubería resulta de la suma de Q_{1-2} y q_2 , por lo tanto:

$$Q_{2-3} = Q_{1-2} + q_2$$

$$\text{Como: } Q_{1-2} = q_1 \rightarrow Q_{2-3} = q_1 + q_2$$

$$\text{Sustituyendo: } Q_{2-3} = 21.17 \text{ gpm} + 22.29 \text{ gpm}$$

$$\therefore Q_{2-3} = \mathbf{43.46 \text{ gpm}}$$

3. Calculando L_T : en este tramo de tubería no existe accesorio alguno que contribuya a la caída de presión por lo que $L_{EA} = 0$. Por otro lado, la longitud real $L_t = \mathbf{9.5 \text{ ft (2.9 m)}}$, por lo que el cálculo queda como:

$$L_T = L_{EA} + L_t$$

$$\text{Sustituyendo: } L_T = 0 \text{ ft} + 9.5 \text{ ft}$$

$$\therefore L_T = \mathbf{9.5 \text{ ft}}$$

4. Calculando ΔP_{2-3} :

$$\text{Reduciendo los cálculos: } \Delta P_{2-3} = \frac{4.52 L_T Q_{2-3}^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}}$$

$$\text{Sustituyendo: } \Delta P_{2-3} = \frac{4.52 (9.5) (43.46^{1.85})}{(120^{1.85}) (1.610^{4.87})} = \left(0.0679 \frac{\text{psi}}{\text{ft}}\right) (9.5 \text{ ft})$$

$$\therefore \Delta P_{2-3} = \mathbf{0.645 \text{ psi}}$$

5. Calculando P_3 : en este tramo de la red, los nodos 2 y 3 están a la misma altura por lo que $\Delta Z_{1-2} = 0$, entonces el cálculo queda:

$$P_3 = P_2 + \Delta P_{2-3} + \Delta Z_{2-3}$$

$$\text{Sustituyendo: } P_3 = 7.76 \text{ psi} + 0.645 \text{ psi} + 0 \text{ psi}$$

$$\therefore P_3 = \mathbf{8.41 \text{ psi}}$$

PASO NO.3 (tramo 3-4):

1. Calculando q_3 :

$$q_3 = K \sqrt{P_3}$$

$$\text{Sustituyendo: } q_3 = 8.0 \frac{\text{gpm}}{\text{psi}^{1/2}} \times \sqrt{8.41 \text{ psi}}$$

$$\therefore q_3 = \mathbf{23.2 \text{ gpm}}$$

2. Calculando Q_{3-4} : el flujo de agua en el tramo de tubería resulta de la suma de Q_{2-3} y q_3 , por lo tanto:

$$Q_{3-4} = Q_{2-3} + q_3$$

$$\text{Sustituyendo: } Q_{3-4} = 43.46 \text{ gpm} + 23.2 \text{ gpm}$$

$$\therefore Q_{3-4} = \mathbf{66.66 \text{ gpm}}$$

3. Calculando L_T : en este tramo de tubería la longitud equivalente $L_{EA} = 0$ y la longitud real $L_t = 9.5 \text{ ft (2.9 m)}$:

$$L_T = L_{EA} + L_t$$

$$\text{Sustituyendo: } L_T = 0 \text{ ft} + 9.5 \text{ ft}$$

$$\therefore L_T = \mathbf{9.5 \text{ ft}}$$

4. Calculando ΔP_{3-4} :

$$\text{Reduciendo los cálculos: } \Delta P_{3-4} = \frac{4.52 L_T Q_{3-4}^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}}$$

$$\text{Sustituyendo: } \Delta P_{3-4} = \frac{4.52 (9.5) (66.66^{1.85})}{(120^{1.85}) (1.610^{4.87})} = \left(0.1498 \frac{\text{psi}}{\text{ft}}\right) (9.5 \text{ ft})$$

$$\therefore \Delta P_{3-4} = \mathbf{1.423 \text{ psi}}$$

5. Calculando P_4 : en este tramo $\Delta Z_{3-4} = 0$, entonces:

$$P_4 = P_3 + \Delta P_{3-4} + \Delta Z_{3-4}$$

$$\text{Sustituyendo: } P_4 = 8.41 \text{ psi} + 1.423 \text{ psi} + 0 \text{ psi}$$

$$\therefore P_4 = \mathbf{9.83 \text{ psi}}$$

PASO NO.4 (tramo 4-5):

1. Calculando q_4 :

$$q_4 = K \sqrt{P_4}$$

$$\text{Sustituyendo: } q_4 = 8.0 \frac{\text{gpm}}{\text{psi}^{1/2}} \times \sqrt{9.83 \text{ psi}}$$

$$\therefore q_4 = \mathbf{25.08 \text{ gpm}}$$

2. Calculando Q_{4-5} :

$$Q_{4-5} = Q_{3-4} + q_4$$

$$\text{Sustituyendo: } Q_{4-5} = 66.66 \text{ gpm} + 25.08 \text{ gpm}$$

$$\therefore Q_{4-5} = 91.74 \text{ gpm}$$

3. Calculando L_T :

$$L_T = L_{EA} + L_t$$

$$\text{Sustituyendo: } L_T = 0 \text{ ft} + 4.75 \text{ ft}$$

$$\therefore L_T = 4.75 \text{ ft}$$

4. Calculando ΔP_{4-5} :

$$\text{Reduciendo los cálculos: } \Delta P_{4-5} = \frac{4.52 L_T Q_{4-5}^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}}$$

$$\text{Sustituyendo: } \Delta P_{4-5} = \frac{4.52 (4.75) (91.74^{1.85})}{(120^{1.85}) (1.610^{4.87})} = \left(0.2705 \frac{\text{psi}}{\text{ft}}\right) (4.75 \text{ ft})$$

$$\therefore \Delta P_{4-5} = 1.285 \text{ psi}$$

5. Calculando P_5 :

$$P_5 = P_4 + \Delta P_{4-5} + \Delta Z_{4-5}$$

$$\text{Sustituyendo: } P_5 = 9.83 \text{ psi} + 1.285 \text{ psi} + 0 \text{ psi}$$

$$\therefore P_5 = 11.12 \text{ psi}$$

PASO NO.5 (tramo 5-6):

1. Calculando q_6 : en este caso en especial, el quinto rociador se encuentra después del ramal principal, entonces la caída de presión en este tramo se puede considerar despreciable. Por lo tanto, sólo queda calcular el flujo en el nodo 6 que es igual al flujo de 5-6. Para ello se considera la presión P_5 en el nodo 5 y se calcula como sigue:

$$q_6 = K \sqrt{P_5}$$

$$\text{Sustituyendo: } q_6 = 8.0 \frac{\text{gpm}}{\text{psi}^{1/2}} \times \sqrt{11.12 \text{ psi}}$$

$$\therefore q_6 = 26.68 \text{ gpm}$$

En este paso se puede despreciar la caída de presión en el tramo 5-6 ya que ésta no contribuye con energía en el nodo 5, la única contribución a este nodo es de flujo de agua. El efecto de este tipo de arreglo, es similar al de una instalación donde existen bombas en paralelo, la contribución de masa es significativa, mientras que la contribución de energía es nula.

PASO NO.6 (tramo 5-7):

1. Calculando Q_{5-7} :

$$Q_{5-7} = Q_{4-5} + Q_{5-6}$$

Como: $Q_{5-6} = q_6$, entonces: $Q_{5-7} = Q_{4-5} + q_6$

Sustituyendo: $Q_{5-7} = 91.74 \text{ gpm} + 26.68 \text{ gpm}$

$\therefore Q_{5-7} = 118.42 \text{ gpm}$

2. Calculando L_T : en este tramo existe una te de 2 pulgadas de diámetro que interconecta el último ramal con el ramal principal cuya longitud equivalente es de **10 ft**, por lo tanto:

$$L_T = L_{EA} + L_t$$

Sustituyendo: $L_T = 10 \text{ ft} + 9.2 \text{ ft}$

$\therefore L_T = 19.2 \text{ ft}$

3. Calculando ΔP_{5-7} : la tubería en el ramal principal cambia a 2 pulgadas de diámetro ya que se requiere conducir una cantidad mayor de agua, así:

Reduciendo los cálculos: $\Delta P_{5-7} = \frac{4.52 L_T Q_{5-7}^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}}$

Sustituyendo: $\Delta P_{5-7} = \frac{4.52 (19.2) (118.42^{1.85})}{(120^{1.85}) (2.067^{4.87})} = \left(0.1285 \frac{\text{psi}}{\text{ft}}\right) (19.2 \text{ ft})$

$\therefore \Delta P_{5-7} = 2.467 \text{ psi}$

4. Calculando P_7 :

$$P_7 = P_5 + \Delta P_{5-7} + \Delta Z_{5-7}$$

Sustituyendo: $P_7 = 11.12 \text{ psi} + 2.467 \text{ psi} + 0 \text{ psi}$

$\therefore P_7 = 13.59 \text{ psi}$

PASO NO.7 (tramo 7-8):

1. Calculando q_7 mediante un nuevo K del nodo 5: Observando el diagrama de nodos que funciona como apoyo para realizar los cálculos, es posible observar que en el nodo 7 el flujo se divide en dos direcciones diferentes, una parte del flujo se va hacia el nodo 5 y otra parte hacia los rociadores del ramal B que se interconecta con el nodo 7. Es imposible calcular la caída de presión existente en este ramal si no se conoce el flujo ni la presión de operación de cada uno de los rociadores, sin embargo, se puede utilizar una estrategia diferente.

Suponiendo que no existieran rociadores en el ramal B e incluso no existiera la tubería, pero que la derivación hacia este ramal se encontrara totalmente abierta, entonces este punto se podría considerar como si fuera un rociador, es decir, una descarga de agua con un diámetro de orificio del tamaño de la tubería. Por lo tanto, se puede estimar la cantidad de flujo que se estaría descargando en este punto, calculando un factor K propio de la tubería. El tramo 5-7 en este caso es de 2 pulgadas de diámetro, por lo que los nodos 5 y 7 poseen el mismo factor K y entonces se puede estimar utilizando la presión y el flujo de la tubería en el nodo 5:

$$K_5 = \frac{Q_{5-7}}{\sqrt{P_5}}, \text{ como } K_5 = K_7$$

$$\text{Sustituyendo: } K_7 = \frac{118.42 \text{ gpm}}{\sqrt{11.12 \text{ psi}}}$$

$$\therefore K_7 = 35.51 \frac{\text{gpm}}{\text{psi}^{1/2}}$$

Ahora que se ha calculado el factor K de la tubería en el tramo 5-7, entonces se puede estimar la cantidad de agua que se va por la derivación hacia el ramal B, pero considerando entonces la presión en el nodo 7, ya que es el único parámetro que se ha modificado:

$$q_7 = K_7 \sqrt{P_7}$$

$$\text{Sustituyendo: } q_7 = 35.51 \frac{\text{gpm}}{\text{psi}^{1/2}} \times \sqrt{13.59 \text{ psi}}$$

$$\therefore q_7 = 130.89 \text{ gpm}$$

2. Calculando Q_{7-8} : Si se realiza entonces el balance de materia en el nodo 7, se tiene que:

$$Q_{7-8} = Q_{5-7} + q_7$$

$$\text{Sustituyendo: } Q_{7-8} = 118.42 \text{ gpm} + 130.89 \text{ gpm}$$

$$\therefore Q_{7-8} = 249.31 \text{ gpm}$$

3. Calculando L_T : de nueva cuenta, en este tramo no existe ningún accesorio, por lo que:

$$L_T = L_{EA} + L_t$$

$$\text{Sustituyendo: } L_T = 0 \text{ ft} + 9.2 \text{ ft}$$

$$\therefore L_T = 9.2 \text{ ft}$$

4. Calculando ΔP_{7-8} :

$$\Delta P_{7-8} = \frac{4.52 L_T Q_{7-8}^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}}$$

$$\text{Sustituyendo: } \Delta P_{7-8} = \frac{4.52 (9.2) (249.31^{1.85})}{(120^{1.85}) (2.067^{4.87})} = \left(0.5092 \frac{\text{psi}}{\text{ft}}\right) (9.2 \text{ ft})$$

$$\therefore \Delta P_{7-8} = \mathbf{4.685 \text{ psi}}$$

5. Calculando P_8 : en este tramo, nuevamente no existe contribución de energía por diferencia de alturas, por lo tanto:

$$P_8 = P_7 + \Delta P_{7-8} + \Delta Z_{7-8}$$

$$\text{Sustituyendo: } P_8 = 13.59 \text{ psi} + 4.685 \text{ psi} + 0 \text{ psi}$$

$$\therefore P_8 = \mathbf{18.27 \text{ psi}}$$

PASO NO.8 (tramo 8-9):

1. Calculando q_8 : el tramo 8-9 sigue siendo de 2 pulgadas de diámetro, por lo que el factor K calculado en el paso anterior, deberá utilizarse para calcular de igual forma que en el ramal B, la cantidad de flujo de agua que se estaría conduciendo hacia el ramal C, pero considerando la presión del nodo 8, por lo tanto, el flujo es:

$$q_8 = K_7 \sqrt{P_8}$$

$$\text{Sustituyendo: } q_8 = 35.51 \frac{\text{gpm}}{\text{psi}^{1/2}} \times \sqrt{18.27 \text{ psi}}$$

$$\therefore q_8 = \mathbf{151.78 \text{ gpm}}$$

Si el tramo de tubería, sufriera algún cambio de diámetro, entonces se debe estimar un nuevo factor K para la tubería con diámetro distinto, de la misma forma que se determinó en el paso no 7.

2. Calculando Q_{8-9} :

$$Q_{8-9} = Q_{7-8} + q_8$$

$$\text{Sustituyendo: } Q_{8-9} = 249.31 \text{ gpm} + 151.78 \text{ gpm}$$

$$\therefore Q_{8-9} = \mathbf{401.09 \text{ gpm}}$$

3. Calculando L_T :

$$L_T = L_{EA} + L_t$$

$$\text{Sustituyendo: } L_T = 0 \text{ ft} + 9.2 \text{ ft}$$

$$\therefore L_T = \mathbf{9.2 \text{ ft}}$$

4. Calculando ΔP_{8-9} :

$$\Delta P_{8-9} = \frac{4.52 L_T Q_{8-9}^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}}$$

$$\text{Sustituyendo: } \Delta P_{8-9} = \frac{4.52 (9.2) (401.09^{1.85})}{(120^{1.85}) (2.067^{4.87})} = \left(1.2273 \frac{\text{psi}}{\text{ft}} \right) (9.2 \text{ ft})$$

$$\therefore \Delta P_{8-9} = \mathbf{11.29 \text{ psi}}$$

5. Calculando P_9 :

$$P_9 = P_8 + \Delta P_{8-9} + \Delta Z_{8-9}$$

$$\text{Sustituyendo: } P_9 = 18.27 \text{ psi} + 11.29 \text{ psi} + 0 \text{ psi}$$

$$\therefore P_9 = \mathbf{29.56 \text{ psi}}$$

PASO NO.9 (tramo 9-10):

1. Calculando q_9 : en este tramo de la red, se sigue utilizando tubería del mismo diámetro, por lo que debe seguir utilizándose el mismo factor K de los pasos no. 7 y no. 8 para determinar el flujo que se conducirá por el ramal D. Sin embargo, en este caso deberá considerarse que abrirán sólo tres rociadores en lugar de cinco, debido a que de acuerdo con lo establecido en la sección anterior, sólo deberán abrir 18 rociadores. Entonces, sólo se conducirá un 60% del flujo total de agua ya que 3/5 rociadores abrirán solamente, por lo tanto:

$$q_9 = (0.6) K_7 \sqrt{P_9}$$

$$\text{Sustituyendo: } q_9 = 35.51 \frac{\text{gpm}}{\text{psi}^{1/2}} \times \sqrt{29.56 \text{ psi}} \times 0.6$$

$$\therefore q_9 = \mathbf{115.84 \text{ gpm}}$$

2. Calculando Q_{9-10} :

$$Q_{9-10} = Q_{8-9} + q_9$$

$$\text{Sustituyendo: } Q_{9-10} = 401.09 \text{ gpm} + 115.84 \text{ gpm}$$

$$\therefore Q_{9-10} = \mathbf{516.93 \text{ gpm}}$$

3. Calculando L_T : en este tramo de la red existen los siguientes accesorios de 2 pulgadas de diámetro: dos codos de 90° equivalentes a 5 ft de tubería cada uno, una válvula de

compuerta equivalente a 1 ft de tubería lineal y una válvula de retención (válvula de alarma) equivalente a 11 ft de tubería. La longitud real de tubería es de aproximadamente 89.28 ft (27.4 m), por lo que la longitud total de tubería se calcula como sigue:

$$L_T = L_{EA} + L_t$$

$$\text{Sustituyendo: } L_T = 22 \text{ ft} + 89.28 \text{ ft}$$

$$\therefore L_T = \mathbf{111.28 \text{ ft}}$$

4. Calculando ΔP_{9-10} :

$$\Delta P_{9-10} = \frac{4.52 L_T Q_{9-10}^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}}$$

$$\text{Sustituyendo: } \Delta P_{9-10} = \frac{4.52 (111.28) (516.93^{1.85})}{(120^{1.85}) (2.067^{4.87})} = \left(1.9624 \frac{\text{psi}}{\text{ft}}\right) (111.28 \text{ ft})$$

$$\therefore \Delta P_{9-10} = \mathbf{218.38 \text{ psi}}$$

5. Calculando P_{10} : en este caso si existe contribución de energía por la diferencia de alturas, ya que el ramal de distribución se encuentra a una altura aproximada de 13.12 ft (4 m) respecto del punto de conexión, finalmente la presión en el nodo 10 se define como sigue:

$$P_{10} = P_9 + \Delta P_{9-10} + \Delta Z_{9-10}$$

$$\text{Sustituyendo: } P_{10} = 29.56 \text{ psi} + 218.38 \text{ psi} + 5.68 \text{ psi}$$

$$\therefore P_{10} = \mathbf{253.62 \text{ psi}}$$

El resumen de los resultados obtenidos de la serie de cálculos, se muestra en la tabla 8.2.3.3. En este resumen se puede observar que la presión final, es decir, la presión en el nodo 10 es demasiado alta para un sistema de rociadores, además de que la cantidad de agua que finalmente entrega el sistema casi duplica la mínima necesaria.

Tabla 8.2.3.3. Hoja de Cálculos Hidráulicos (Propuesta de dimensiones)

Normatividad diseño:		NFPA 13, ed. 2007		Clasificación riesgo:		Ordinario Grupo 2										
Tipo de sistema:		Tubería húmeda		Área de diseño:		1,500 ft ² (139 m ²)										
Área total protección:		500 m ² (5,379 ft ²)		Densidad de diseño:		0.20 gpm/ft ² (8.15 lpm/m ²)										
Tipo de rociadores:		ESFR, montante		Flujo mínimo agua:		300 gpm (1,135 lpm)										
Temperatura:		Intermedia		Presión de diseño:		7 psi (0.49 kg/cm ²)										
Cobertura Máx.:		100 ft ² (9.3 m ²)		Cobertura de rociador (A _s):		87.1 ft ² (8.1 m ²)										
Distancia Máx.:		12 ft (3.7 m)		Distancia rociadores (d _s):		9.5 ft (2.9 m)										
Factor descarga K:		8.0		Distancia ramales (d _b):		9.2 ft (2.8 m)										
REGISTRO DE RESULTADOS																
PASO NO.	NODOS		FLUJO (gpm)	DIA. (in)	LONGITUD EQ. ACCESORIOS			LONGITUD TOTAL (ft)	PÉRDIDAS FRICCIÓN (psi/ft)		SUMA PRESION (psi)	NOTAS				
	INI.	FIN.			Acc.	Cant.	TOTAL (ft)									
1	01	02	q ₁	21.17	1.610	Tes	1	L _{ET}	8	L _t	10.5	C	120	P ₁	7.0	$P_1 = 7.0 \text{ psi}$ $Q_{1-2} = q_1 = 8 \times (7^{0.5})$ $\Delta Z_{1-2} = 1 \times 0.433$
			Q ₁₋₂			21.17	Codos		L _{EC}		L _{EA}	8	0.0179	ΔZ ₁₋₂	0.433	
			Q ₁₋₂			21.17	Válvulas		L _{EV}		L _T	18.5		ΔP ₁₋₂	0.331	
2	02	03	q ₂	22.29	1.610	Tes		L _{ET}		L _t	9.5	C	120	P ₂	7.76	$q_2 = 8 \times (7.76^{0.5})$ $Q_{2-3} = q_1 + q_2$
			Q ₂₋₃			43.46	Codos		L _{EC}		L _{EA}	0	0.0679	ΔZ ₂₋₃		
			Q ₂₋₃			43.46	Válvulas		L _{EV}		L _T	9.5		ΔP ₂₋₃	0.645	
3	03	04	q ₃	23.20	1.610	Tes		L _{ET}		L _t	9.5	C	120	P ₃	8.41	$q_3 = 8 \times (8.41^{0.5})$ $Q_{3-4} = Q_{2-3} + q_3$
			Q ₃₋₄			66.66	Codos		L _{EC}		L _{EA}	0	0.1498	ΔZ ₃₋₄		
			Q ₃₋₄			66.66	Válvulas		L _{EV}		L _T	9.5		ΔP ₃₋₄	1.423	
4	04	05	q ₄	25.08	1.610	Tes		L _{ET}		L _t	4.75	C	120	P ₄	9.83	$q_4 = 8 \times (9.83^{0.5})$
			Q ₄₋₅			91.74	Codos		L _{EC}		L _{EA}	0	0.2705	ΔZ ₄₋₅		
			Q ₄₋₅			91.74	Válvulas		L _{EV}		L _T	4.75		ΔP ₄₋₅	1.285	
5	05	06	q ₆	26.68	1.610	Tes		L _{ET}		L _t	0	C	120	P ₅	11.12	$q_6 = 8 \times (11.12^{0.5})$
			Q ₅₋₆			26.68	Codos		L _{EC}		L _{EA}	0	0	ΔZ ₅₋₆		
			Q ₅₋₆			26.68	Válvulas		L _{EV}		L _T	0		ΔP ₅₋₆	0	
6	05	07	Q ₄₋₅	91.74	2.067	Tes	1	L _{ET}	10	L _t	9.2	C	120	P ₆	11.12	$Q_{5-7} = q_6 + Q_{4-5}$ $Q_{5-7} = 26.68 + 91.74$
			Q ₅₋₇			118.42	Codos		L _{EC}		L _{EA}	10	0.1285	ΔZ ₅₋₇		
			Q ₅₋₇			118.42	Válvulas		L _{EV}		L _T	19.2		ΔP ₅₋₇	2.467	
7	07	08	q ₇	130.89	2.067	Tes		L _{ET}		L _t	9.2	C	120	P ₇	13.59	$K_5 = Q_{5-7} / (P_5^{0.5})$ $K_5 = 118.42 / (11.12^{0.5})$ $K_5 = 35.51$ $q_7 = 35.51 \times (13.59^{0.5})$
			K ₅			35.51	Codos		L _{EC}		L _{EA}	0	0.5092	ΔZ ₇₋₈		
			Q ₇₋₈			249.31	Válvulas		L _{EV}		L _T	9.2		ΔP ₇₋₈	4.685	
8	08	09	q ₈	151.78	2.067	Tes		L _{ET}		L _t	9.2	C	120	P ₈	18.27	$q_8 = 35.51 \times (18.27^{0.5})$
			Q ₈₋₉			401.09	Codos		L _{EC}		L _{EA}	0	1.2273	ΔZ ₈₋₉		
			Q ₈₋₉			401.09	Válvulas		L _{EV}		L _T	9.2		ΔP ₈₋₉	11.29	
9	09	10	q ₉	115.84	2.067	Tes		L _{ET}		L _t	89.28	C	120	P ₉	29.56	$q_9 = 35.51 \times (29.56^{0.5}) \times 0.6$ $\Delta Z_{9-10} = 13.12 \times 0.433$
			Q ₉₋₁₀			516.93	Codos	2	L _{EC}	10	L _{EA}	22	1.9624	ΔZ ₉₋₁₀	5.68	
			Q ₉₋₁₀			516.93	Válvulas	2	L _{EV}	12	L _T	111.3		ΔP ₉₋₁₀	218.38	
													P ₁₀	253.62		

Una presión de casi **254 psi** en el punto de conexión para un sistema de rociadores, trae consigo una serie de problemas importantes. Se considera demasiado grande ya que inclusive supera la clasificación estándar de presión de la tubería y accesorios, que es de 175 psi, lo que obligaría al instalador a seleccionar tubería y accesorios con una clasificación mayor. Esto se traduce obviamente, en un aumento en el costo total del sistema ya que entre más alta sea la clasificación de presión de los componentes, mayor es su precio comercial.

Adicionalmente, una presión tan alta en el punto de conexión del sistema, puede involucrar la adquisición de un sistema de bombeo cuyo costo puede reducirse hasta la mitad, si se requiere de una presión mucho menor.

Por otro lado, tener un sistema que entregue una cantidad de agua casi del doble de la mínima necesaria, se puede traducir en un desperdicio innecesario de agua y un consumo mayor de agua, lo que finalmente obliga a diseñar y construir un tanque de almacenamiento de agua más grande y, nuevamente, existiría un aumento en el costo final del sistema.

Una de las soluciones, que termina siendo la más viable en la mayoría de las ocasiones, es la de optimizar el sistema para abatir la presión en el punto de conexión, y encontrar un mejor balance costo-beneficio.

En el caso del ejemplo que se ha resuelto paso a paso a lo largo del presente capítulo, la mejor optimización que se encontró del sistema se muestra en la tabla 8.2.3.4. En esta tabla se puede observar que el criterio utilizado es simplemente el de tratar de reducir la cantidad de agua y la presión, por lo que los parámetros que cambiaron para optimizar el sistema, fueron los siguientes:

- 1) El factor ***K*** de los rociadores se disminuyó a **5.6**, con lo que se asegura una descarga menor de agua.
- 2) La presión de diseño se aumentó a **10 psi (0.7 kg/cm²)**, para asegurar que el rociador HMD cumpla con la densidad mínima de diseño.

- 3) El diámetro del ramal principal de distribución se aumentó a **3 pulgadas**, con lo que se disminuyen las pérdidas de presión por fricción.

La figura 8.2.3.3 muestra un isométrico del sistema diseñado, considerando ya, las modificaciones realizadas para optimizarlo en términos de las pérdidas de presión debidas a una fricción considerable. Por su parte, la tabla 8.2.3.4 muestra un resumen con los resultados obtenidos en los cálculos hidráulicos, considerando los cambios mencionados en el párrafo anterior.

Figura 8.2.3.3. Isométrico del sistema de rociadores

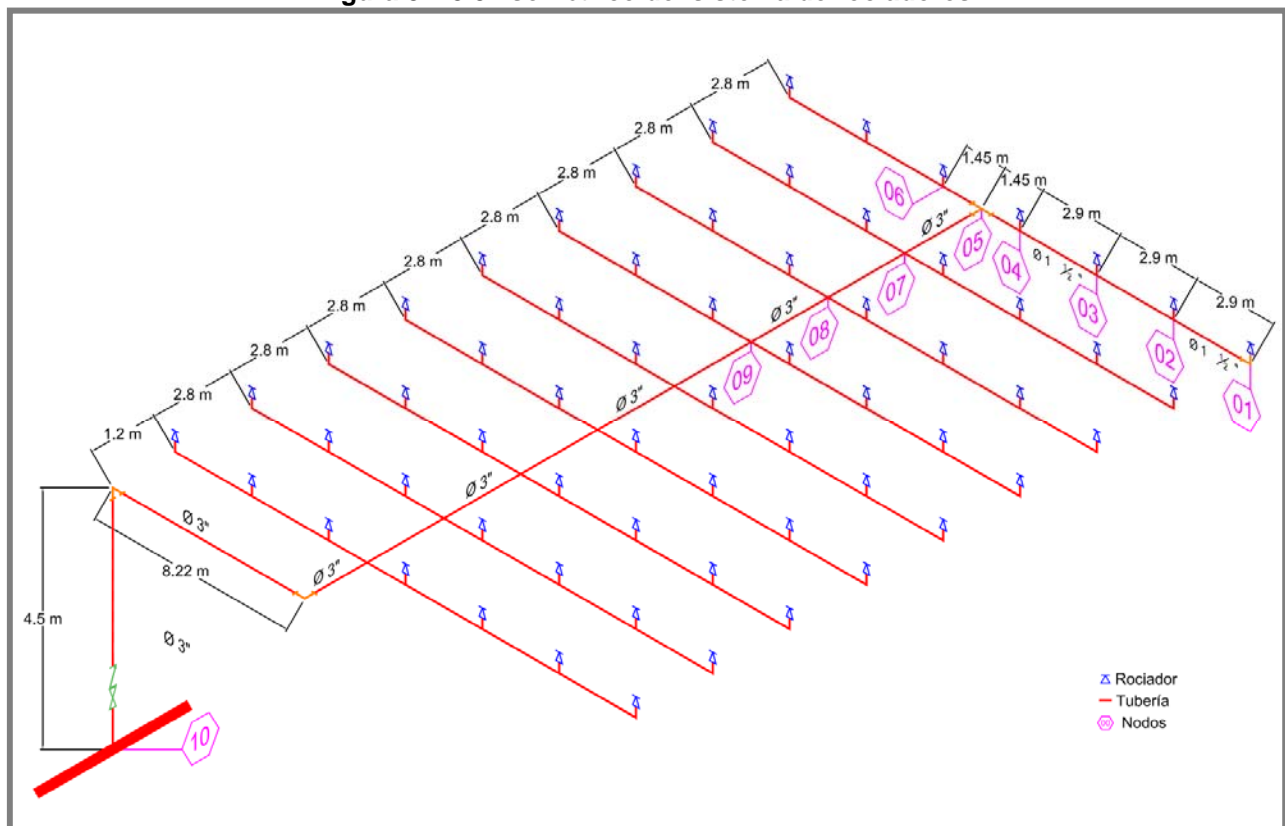


Tabla 8.2.3.4. Hoja de Cálculos Hidráulicos (Optimización de dimensiones)

Normatividad diseño:		NFPA 13, ed. 2007				Clasificación riesgo:		Ordinario Grupo 2											
Tipo de sistema:		Tubería húmeda				Área de diseño:		1,500 ft ² (139 m ²)											
Área total protección:		500 m ² (5,379 ft ²)				Densidad de diseño:		0.20 gpm/ft ² (8.15 lpm/m ²)											
Tipo de rociadores:		ESFR, montante				Flujo mínimo agua:		300 gpm (1,135 lpm)											
Temperatura:		Intermedia				Presión de diseño:		10 psi (0.70 kg/cm²)											
Cobertura Máx.:		100 ft ² (9.3 m ²)				Cobertura de rociador (A_s):		87.1 ft ² (8.1 m ²)											
Distancia Máx.:		12 ft (3.7 m)				Distancia rociadores (d_s):		9.5 ft (2.9 m)											
Factor descarga K:		5.6		Distancia ramales (d_b):		9.2 ft (2.8 m)													
REGISTRO DE RESULTADOS																			
PASO NO.	NODOS		FLUJO (gpm)		DIA. (in)	LONGITUD EQ. ACCESORIOS			LONGITUD TOTAL (ft)		PÉRDIDAS FRICCIÓN (psi/ft)		SUMA PRESION (psi)		NOTAS				
	INI.	FIN.				Acc.	Cant.	TOTAL (ft)											
1	01	02	q ₁	17.71	1.610	Tes	1	L _{ET}	8	L _I	10.5	C	120	P ₁	10.0	P ₁ = 10 psi Q ₁₋₂ = q ₁ = 5.6 x (10.0 ^{0.5}) ΔZ ₁₋₂ = 1 x 0.433			
			Q ₁₋₂			17.71	Codos		L _{EC}		L _{EA}			8			0.0129	ΔZ ₁₋₂	0.433
			Q ₁₋₂			17.71	Válvulas		L _{EV}		L _T			18.5				ΔP ₁₋₂	0.239
2	02	03	q ₂	18.29	1.610	Tes		L _{ET}		L _I	9.5	C	120	P ₂	10.67	q ₂ = 5.6 x (10.67 ^{0.5})			
			Q ₂₋₃			36	Codos		L _{EC}		L _{EA}			0			0.0479	ΔZ ₂₋₃	
			Q ₂₋₃			36	Válvulas		L _{EV}		L _T			9.5				ΔP ₂₋₃	0.455
3	03	04	q ₃	18.68	1.610	Tes		L _{ET}		L _I	9.5	C	120	P ₃	11.13	q ₃ = 5.6 x (11.13 ^{0.5})			
			Q ₃₋₄			54.68	Codos		L _{EC}		L _{EA}			0			0.1038	ΔZ ₃₋₄	
			Q ₃₋₄			54.68	Válvulas		L _{EV}		L _T			9.5				ΔP ₃₋₄	0.986
4	04	05	q ₄	19.50	1.610	Tes		L _{ET}		L _I	4.75	C	120	P ₄	12.12	q ₄ = 5.6 x (11.13 ^{0.5})			
			Q ₄₋₅			74.18	Codos		L _{EC}		L _{EA}			0			0.1826	ΔZ ₄₋₅	
			Q ₄₋₅			74.18	Válvulas		L _{EV}		L _T			4.75				ΔP ₄₋₅	0.867
5	05	06	q ₆	20.18	1.610	Tes		L _{ET}		L _I	0	C	120	P ₅	12.99	q ₆ = 5.6 x (14.45 ^{0.5})			
			Q ₅₋₆			20.18	Codos		L _{EC}		L _{EA}			0			0	ΔZ ₅₋₆	
			Q ₅₋₆			20.18	Válvulas		L _{EV}		L _T			0				ΔP ₅₋₆	0
6	05	07	Q ₄₋₅	74.18	3.068	Tes	1	L _{ET}	15	L _I	9.2	C	120	P ₆	12.99	Q ₅₋₇ = q ₆ + Q ₄₋₅ Q ₅₋₇ = 20.18 + 74.18			
			Q ₅₋₇			94.36	Codos		L _{EC}		L _{EA}			15			0.0123	ΔZ ₅₋₇	
			Q ₅₋₇			94.36	Válvulas		L _{EV}		L _T			24.2				ΔP ₅₋₇	0.298
7	07	08	q ₇	95.43	3.068	Tes		L _{ET}		L _I	9.2	C	120	P ₇	13.29	K ₅ = Q ₅₋₇ / (P ₅ ^{0.5}) K ₅ = 94.36 / (12.99 ^{0.5}) K ₅ = 26.18 q ₇ = 26.18 x (13.29 ^{0.5})			
			K ₅	26.18		Codos		L _{EC}		L _{EA}	0			0.0449			ΔZ ₇₋₈		
			Q ₇₋₈	189.79		Válvulas		L _{EV}		L _T	9.2						ΔP ₇₋₈	0.413	
8	08	09	q ₈	96.90	3.068	Tes		L _{ET}		L _I	9.2	C	120	P ₈	13.7	q ₈ = 26.18 x (13.7 ^{0.5})			
			Q ₈₋₉			286.69	Codos		L _{EC}		L _{EA}			0			0.0964	ΔZ ₈₋₉	
			Q ₈₋₉			286.69	Válvulas		L _{EV}		L _T			9.2				ΔP ₈₋₉	0.89
9	09	10	q ₉	60.00	3.068	Tes		L _{ET}		L _I	89.28	C	120	P ₉	14.59	q ₉ = 26.18 x (14.59 ^{0.5}) x 0.6 ΔZ ₉₋₁₀ = 13.12 x 0.433			
			Q ₉₋₁₀			346.69	Codos	2	L _{EC}	14	L _{EA}			31			0.1369	ΔZ ₉₋₁₀	5.681
			Q ₉₋₁₀			346.69	Válvulas	2	L _{EV}	17	L _T			120.28				ΔP ₉₋₁₀	16.47
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	P ₁₀	36.74	16				
													14	15					

Finalmente, se debe comprobar que el sistema cumpla normativamente con los criterios de diseño que se establecieron en un principio. Para ello se debe recordar que la tasa de aplicación de agua o densidad de diseño, debe ser de no menos de **0.20 gpm/ft² (8.15 lpm/m²)**. La NFPA establece que esta densidad de aplicación de agua, se debe cumplir de forma global para la totalidad del sistema, como particular para cada rociador instalado.

Recordando algunos de los parámetros definidos en secciones anteriores, el área de diseño del sistema es de **1,500 ft² (139 m²)** establecido en la sección 8.2.1 y, el área de cobertura de cada rociador es de **87.1 ft² (8.1 m²)**, que se determinó matemáticamente en la sección 8.2.2. Considerando el flujo en el rociador HMD que es de **17.71 gpm (67 lpm)**, cuyo flujo sería el menor de todos, ya que la presión de operación de éste es la mínima de diseño y, el flujo total que entrega el sistema que es de **346.69 gpm (1,312 lpm)**, las tasas de aplicación del sistema diseñado y del rociador HMD seleccionado, resultan:

$$\begin{array}{l} \text{Densidad de aplicación de} \\ \text{agua del rociador HMD:} \end{array} \quad d = \frac{q}{A_s} = \frac{17.71 \text{ gpm}}{87.1 \text{ ft}^2} = \mathbf{0.203 \text{ gpm/ft}^2}$$

$$\begin{array}{l} \text{Densidad de aplicación de} \\ \text{agua total del sistema:} \end{array} \quad d = \frac{Q}{A_D} = \frac{346.69 \text{ gpm}}{1500 \text{ ft}^2} = \mathbf{0.231 \text{ gpm/ft}^2}$$

Ninguno de los dos valores es menor que la densidad de diseño, por lo tanto, es posible comprobar que el sistema se encuentra diseñado adecuadamente.

8.2.4. CÁLCULOS DEL SUMINISTRO

El paso final en la labor de diseño, es calcular la capacidad que debe tener la fuente de suministro de agua. Para ello es necesario consultar normas como la NFPA 13, para conocer los criterios de diseño respecto del suministro de agua para el sistema. La tabla 8.2.3.1 muestra los criterios para el suministro de la NFPA 13. El problema 8.2.1.1 seguirá considerándose como ejemplo para determinar la capacidad del suministro.

De manera general, para la red contra incendios de cualquier instalación, la capacidad del tanque de almacenamiento o de la fuente de suministro de agua contra incendios, se define por dos factores principales:

- 1) La demanda mayor de agua en toda la instalación
- 2) La demanda de agua para mangueras de apoyo

La demanda mayor de agua, puede estar definida por la cantidad de agua que requiere la operación de un sistema de rociadores, un sistema de aspersion, un sistema de espuma o la operación simultánea de dos o más de los anteriores. Para el caso particular del problema 8.2.1.1, se considerará sólo la operación del sistema de rociadores.

La demanda de agua para mangueras de apoyo, se puede definir mediante algún criterio contenido en alguna norma o mediante los requerimientos particulares de la Autoridad Competente o del Cliente. Particularmente, para dar seguimiento con la solución del problema 8.2.1.1, se utilizarán los criterios establecidos en la NFPA 13.

Tabla 8.2.4.1. Requerimientos de disposición de mangueras y duración del suministro

Riesgo	Mangueras Interiores		Total Mangueras Combinadas Interiores y Exteriores		Duración (minutos)
	gpm	l/m	gpm	l/m	
Ligero	0, 50 o 100	0, 189 o 379	100	379	30
Ordinario	0, 50 o 100	0, 189 o 379	250	946	60-90
Extra	0, 50 o 100	0, 189 o 379	500	1,893	90-120

Fuente: NFPA 13, Norma para la instalación de Sistemas de Rociadores, Ed. 2007

El sistema propuesto en el problema 8.2.1.1, considerará el uso de mangueras interiores y exteriores por lo que de acuerdo a la tabla anterior, se requerirán 250 gpm (946 lpm) adicionales a la demanda de agua de los rociadores. Adicionalmente, se debe considerar una duración del flujo de la demanda total de 60 a 90 minutos, dependiendo si se trata de un riesgo ordinario del grupo 1 o del grupo 2, por lo tanto, finalmente se deberá considerar la duración de 90 minutos para el sistema diseñado en la sección anterior.

Si la demanda de agua del sistema de rociadores es de aproximadamente **347 gpm (1,313 lpm)** y, se deben considerar **250 gpm (946 lpm)** adicionales para mangueras de apoyo, entonces la demanda total del sistema es de **597 gpm (2,259 lpm)**. Tomando en

consideración que se requieren **90 minutos** de duración para el riesgo ordinario del grupo 2, entonces el suministro de agua debe de tener una capacidad mínima de **53,730 galones (203,368 litros)**.

La NFPA 13 ed. 2007, permite que el suministro de agua para servicio contra incendios sea a través del servicio público de distribución de agua, de un tanque elevado, un tanque presurizado o un tanque de almacenamiento atmosférico siempre y cuando, se asegure la demanda de agua del sistema tanto en volumen de agua como en presión en todo momento, es decir, que sea una fuente confiable y de capacidad suficiente.

Si se decidiera que la conexión al suministro fuera a través del servicio público de suministro de agua, entonces la NFPA 13 establece que al momento de la instalación y/o construcción del sistema se debe asegurar con la autoridad correspondiente que la cantidad de agua requerida se encuentre disponible en todo momento sin interrupción alguna y con la presión mínima requerida por el sistema. En México, esta situación es muy difícil de cumplir ya que el servicio público de distribución de agua es muy poco confiable, además de que la presión con la que se entrega el agua se encuentra siempre muy por debajo de la requerida.

Otra opción de suministro, es instalar un tanque elevado que contenga al menos los 203 m³ que se requieren. Sin embargo, esta opción debe estudiarse desde el punto de vista económico, ya que se requiere de elevar un tanque para asegurar la presión en el punto de suministro. Para ello, se requeriría una columna de agua de por lo menos **16 ft (4.8 m)** por encima del nivel del punto de conexión, lo que implicaría entonces elevar un tanque, cuando menos una altura de **5 m (16.4 ft)**. La instalación y el diseño del tanque deben cumplir entonces con la NFPA 22, *Norma para Tanques de Almacenamiento de Agua para Servicio Privado de Protección Contra Incendios*.

Una opción más para el suministro, es la de instalar un tanque o cisterna a nivel de piso en combinación con un sistema de bombeo. El sistema de bombeo que se instale deberá suministrar la demanda mínima de agua de 597 gpm a la presión mínima de 46.69 psi. La instalación del sistema de bombeo debe cumplir con la NFPA 20, *Norma para la Instalación*

de Bombas Estacionarias para Protección Contra Incendios. De acuerdo con esta norma, se encuentran disponibles en el mercado bombas desde 250 gpm de capacidad²⁸.

Sea cual fuere la decisión que se tome respecto al tipo de suministro a utilizar, es importante cumplir siempre con los requerimientos mínimos del sistema, para asegurar su correcto desempeño. Adicionalmente, se debe suministrar una buena instalación, así como un buen mantenimiento al sistema. Un sistema bien instalado y mantenido asegurará una protección contra incendios efectiva.

9. CONCLUSIONES

Los rociadores automáticos son dispositivos altamente efectivos para el combate y la protección contra incendios de casi todo tipo de estructuras. Son considerados actualmente por los expertos a nivel mundial, como una tecnología esencial o básica para la proteger vidas humanas y que son capaces de prevenir la pérdida total de bienes materiales hasta en el 95% de los casos.

Los sistemas de rociadores automáticos que se encuentran debidamente instalados y cuentan con un mantenimiento apropiado, ayudan a salvar vidas. Debido a su capacidad de reacción tan rápida, los rociadores pueden reducir de manera formidable el calor, las llamas y el humo producidos en un incendio. Los rociadores contra incendio se han utilizado alrededor del mundo por más de cien años, protegiendo instalaciones comerciales e industriales y edificios públicos, así como también hoteles, hospitales y edificios de gran altura. La tecnología de los rociadores ha ido evolucionando de tal manera que inclusive hoy en día, puede ser utilizada en los hogares. En América Latina y más específicamente en México, se debería promover el uso de sistemas de rociadores en los proyectos de construcción de todo tipo de edificaciones.

La legislación mexicana en materia de seguridad contra incendios, aún no es la adecuada a pesar de los esfuerzos de las autoridades por mejorar su situación al desarrollar normas nuevas, revisar constantemente las normas que ya se desarrollaron y buscar el cumplimiento de aquellas normas que ya están en vigor. En muchas ocasiones, los encargados de desarrollar las normas o de revisar las que ya están en vigor, no son personas especializadas en el ramo y tienden a establecer requisitos sin fundamentos adecuados. Pero no todo es culpa de las autoridades encargadas de regular las normas, ya que tampoco existen personas en México con la preparación profesional específica en dicho ramo, es decir, que no existe institución que imparta por ejemplo, una licenciatura en el área de la seguridad contra incendios que ayude con la formación de profesionales en la materia.

Los especialistas en el área contra incendios que usualmente se encuentran laborando en México, sólo tienen un grado o dos de especialización, pero no siempre cuentan con los conocimientos necesarios para comprender la totalidad del fenómeno del incendio. Muchos

de los especialistas en seguridad contra incendios, tienen como formación profesional, la de ciencias que no son muy afines, tales como la Administración, la Economía, la Contaduría e incluso el Derecho. Algunos son profesionales de alguna rama de la Ingeniería, pero ninguno tiene una formación de Ingeniero de Protección contra Incendios.

En otros países alrededor del mundo, existen Universidades e Institutos que forman profesionales en Ingeniería contra Incendios. En los Estados Unidos de América por ejemplo, se encuentra la Universidad de Maryland; en Canadá la Universidad de Waterloo y de Carleton; en Hong Kong, la Universidad Politécnica de Hong Kong; en Bélgica la Universidad Ghent; y la Universidad de Greenwich en Inglaterra²⁹, por mencionar algunos ejemplos.

El situación de la seguridad contra incendios en México, podría solucionarse mediante la búsqueda de dos objetivos: uno (1) es que las instituciones de educación superior, den oportunidad al desarrollo de la formación profesional de Ingenieros contra Incendios, para que pueda existir una cultura con mayor grado de especialización; el segundo (2) es aplicar todo el conocimiento y las aptitudes inculcados en dichos ingenieros, para el desarrollo de legislación contra incendios nueva, que tenga fundamentos sólidos.

Por otro lado, México es un país donde la corrupción y los intereses políticos y económicos de algunos sectores muy específicos del país, rigen el terreno legislativo y el impulso educativo con que se cuenta. Por lo tanto, la propuesta de solución deberá ser integral y que no sólo un sector de la economía o política del país sea favorecido.

Mientras se encuentra una solución integral, existen normas internacionales que pueden tomarse como base para implementar regulaciones locales y tomar acciones correctivas para asegurar una protección efectiva en los centros de trabajo, edificios públicos y hasta en los hogares.

La norma NFPA 13 que se describió en el presente documento, es un buen ejemplo de normas reconocidas a nivel mundial, cuyos requerimientos pueden ser utilizados para aplicación en México. La gran versatilidad de la norma permite clasificar los tipos de

edificaciones en diferentes niveles de riesgo, por lo que los diferentes requisitos de diseño e instalación de sistemas de rociadores pueden aplicarse en cualquier lugar donde la Autoridad Competente lo exija. Esta es una norma bastante amigable y fácil de utilizar. En ocasiones puede llegar a utilizarse tal como si fuera un manual de instalación, ya que inclusive provee parámetros técnicos y de cálculos que deben utilizarse en el diseño y la instalación de los rociadores. Menciona las especificaciones de materiales y accesorios que se deben utilizar y, se apoya en otras normas de la NFPA para ajustar sus parámetros de diseño a casi cualquier tipo de riesgo.

Los sistemas de rociadores son actualmente el equipo de eficiencia más alta que existe para extinción de incendios, ya que utilizan la menor cantidad de agua posible para apagar incendios, mediante una cantidad mínima de energía, cuyos costos de mantenimiento son menores en comparación con cualquier otro tipo de sistema de extinción. Es importante aclarar, que sólo aquellos rociadores que se encuentran cerca del incendio, operan para combatir al fuego, mientras que la presión de operación mínima a la que pueden trabajar es de 7 psi (0.5 kg/cm²). Ya que se utiliza agua como medio de extinción, los costos son menores, comparando el mantenimiento y adquisición de sistemas de agentes limpios por ejemplo. Estudios estadísticos establecen, que los sistemas de rociadores apagan incendios en un 95% de los casos, y en promedio abren un máximo de dos rociadores.

El diseñador de sistemas para protección contra incendios, debe conocer muchas y diversas normas que le permitan resolver los problemas que enfrenta a diario. El Ingeniero de Incendios debe conocer no sólo de métodos y técnicas de combate de incendios, sino que debe conocer y ser capaz de identificar los puntos más vulnerables de una instalación, para aplicar de manera adecuada su metodología de protección. Debe tener conocimientos de hidráulica, de química y de termodinámica aplicada en un incendio.

Mientras que los actores correspondientes (autoridades, instituciones educativas, empresas, gobierno) realizan labores de mejora en la materia, el estudiante de Ingeniería también puede hacer su parte siendo un impulsor y desarrollador de la cultura de protección contra incendios en México.

10. BIBLIOGRAFÍA

-
- ¹ **Karter, Michael J**, *Fire Loss in the United States during 2010*, editorial de la National Fire Protection Association, septiembre de 2011.
- ² **Ahrens, Marty**, *Home Structure Fires*, NFPA Journal, National Fire Protection Association, septiembre de 2007.
- ³ **Hall, John R.**, *U. S. Experience with Sprinklers and Other Automatic Fire Extinguishing Equipment*, editorial de la National Fire Protection Association, febrero de 2010.
- ⁴ **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**, última versión publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de Noviembre del 2007.
- ⁵ **Ley Federal del Trabajo**, última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de enero del 2006.
- ⁶ **Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo**, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de enero de 1997.
- ⁷ NOM-002-STPS-2000, **Condiciones de seguridad, prevención, protección y combate de incendios en los centros de trabajo**, última actualización vigente publicada en el Diario Oficial de la Federación, 8 de septiembre de 2000.
- ⁸ **Moncada, Jaime A**, *Los departamentos de prevención de Incendios*, Journal Latinoamericano de la NFPA, NFPA, 2006.
- ⁹ **Moncada, Jaime A.**, *¿Deberíamos implementar más regulaciones de seguridad contra incendios en Latinoamérica?*, Journal Latinoamericano de la NFPA, NFPA, 2006.
- ¹⁰ **Reglamento de Construcciones del Distrito Federal**, Artículos 33 y 109, última actualización vigente publicada en la Gaceta del Diario Oficial del Distrito Federal, 29 enero de 2004.
- ¹¹ **Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal**, última actualización vigente publicada en la Gaceta del Diario Oficial del Distrito Federal, 6 de octubre de 2004.
- ¹² NMX-C-307-1982, **Industria de la Construcción-Edificaciones-Componentes-Resistencia al Fuego-Determinación**. Capítulo 4 Definiciones.
- ¹³ **H. Ayres Gilbert**, *Análisis Químico Cuantitativo*, 2ª edición, Ed. Oxford University Press, México 2001, pp. 43-44.

-
- ¹⁴ **Tuve Richard**, *Principios de la Química de Protección Contra Incendios*, 1ª Edición traducida al español, CEPREVEN, España, 1993.
- ¹⁵ **NFPA 921- Guide for Fire and Explosion Investigations**, Edición 2008, Capítulo 3, Definiciones.
- ¹⁶ **Donald Q. Kern**. *Procesos de Transferencia de Calor*, 1ª Edición, 34ª Reimpresión, México, 2003.
- ¹⁷ ISO 6182-1/11, **Fire Protection – Automatic Sprinkler Systems**, catálogo en línea de la International Organization for Standardization, http://www.iso.org/iso/iso_catalogue.htm, 2010.
- ¹⁸ ISO 16730:2008, **Fire Safety Engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods**, catálogo en línea de la International Organization for Standardization, http://www.iso.org/iso/iso_catalogue.htm, 2011.
- ¹⁹ IEC 60079-10-1:2008, **Explosive Atmospheres – Classification of areas – Explosive atmospheres**, catálogo en línea de la International Electrotechnical Commission, <http://www.iec.ch/standardsdev/publications/>, 2011.
- ²⁰ EN 12845:2004, **Fixed firefighting systems – Automatic sprinkler systems, design, installation and maintenance**, catálogo en línea del European Committee for Standardization, <http://www.cen.eu/cen/Products/EN/Pages/default.aspx>, 2011.
- ²¹ **Cavanaugh, Grant C**, *The Brith of NFPA*, NFPA Journal, editorial de la National Fire Protection Association, 1996.
- ²² **Karter Michael**, *Fire Loss in The United States during 2007*, NFPA Fire Analysis and Research Division, Agosto de 2008.
- ²³ *¿Deberíamos implementar más regulaciones de seguridad contra incendios en Latinoamérica?*, **Jaime A. Moncada**, NFPA Journal Latinoamericano.
- ²⁴ NFPA 13, **Standard for the Installation of Sprinkler Systems**, Edición 2007, editorial de la National Fire Protection Association.
- ²⁵ **Cote, Arthur E. et al.** *Fire Protection Handbook*, Volúmenes I y II, 19ª Edición, editorial de la National Fire Protection Association, E. U. A., 2007.
- ²⁶ **Bryant-Mulholland**, *A guide to characterizing heat release measurement uncertainty for full-scale fire tests*, Fire and Materials, Wiley Interscience, publicado en línea el 4 enero de 2008.

²⁷ **DiNunno, Philip J. et al.**, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 3^{ra} Edición, editorial de la National Fire Protection Association, E. U. A., 2006.

²⁸ NFPA 20, ***Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection***, Edición 2007, editorial de la National Fire Protection Association.

²⁹ ***Pathways for Fire Protection Engineering***, página web de la Sociedad de Ingenieros en Protección contra Incendios (SFPE),
http://www.careersinfireprotectionengineering.com/pathways_highschool.htm, 2010.

11. ANEXOS

ANEXO A. FLUJO DE AGUA EN TUBERÍAS DE ACERO

Caída de presión en 100 metros y velocidad en tuberías de cédula 40, para agua a 15°C																
Caudal (litros por minuto)	Veloci- dad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)	Veloci- dad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)	Veloci- dad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)	Veloci- dad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)	Veloci- dad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)	Veloci- dad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)	Veloci- dad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)	Veloci- dad (metros por segundo)	Caída de presión (bar)
	1/8"		1/4"		3/8"		1/2"		3/4"		1"		1 1/4"		1 1/2"	
1	0.459	0.726	0.251	0.17			0.170	0.044								
2	0.918	2.59	0.501	0.60	0.272	0.136	0.340	0.151	0.144	0.023						
3	1.38	5.59	0.752	1.22	0.407	0.29	0.504	0.209	0.192	0.038						
4	1.84	9.57	1.00	2.09	0.543	0.48	0.679	0.70	0.241	0.057	0.120	0.012				
5	2.29	14.45	1.25	3.18	0.679	0.70	0.845	1.00	0.289	0.077	0.150	0.017				
6	2.75	20.29	1.50	4.46	0.815	0.98	1.09	1.69	0.385	0.129	0.180	0.024				
8	3.67	35.16	2.01	7.36	1.09	1.69	1.36	2.52	0.481	0.193	0.240	0.041				
10			2.51	11.81	1.36	2.52	1.70	3.40	0.572	0.262	0.300	0.061	0.138	0.011		
15			3.76	25.67	2.04	5.37	2.28	5.37	0.722	0.403	0.450	0.124	0.172	0.015	0.127	0.008
20					2.72	9.24	1.70	2.84	0.962	0.683	0.600	0.210	0.258	0.032	0.190	0.015
	2"		2 1/2"		3"		3 1/2"		4"		5"		6"		8"	
30	0.231	0.016	0.216	0.010			2.55	6.17	1.44	1.45	0.900	0.442	0.517	0.114	0.380	0.053
40	0.308	0.027	0.270	0.017			3.40	10.72	1.92	2.50	1.20	0.758	0.689	0.193	0.507	0.091
50	0.385	0.039	0.324	0.023					2.41	3.83	1.50	1.14	0.861	0.290	0.634	0.135
60	0.462	0.055	0.378	0.031					2.89	5.41	1.80	1.61	1.03	0.400	0.761	0.187
70	0.539	0.098	0.432	0.039					3.37	7.27	2.10	2.15	1.21	0.541	0.888	0.248
80	0.616	0.092	0.486	0.048	0.280	0.014			3.85	9.27	2.40	2.76	1.38	0.690	1.01	0.315
90	0.693	0.115	0.540	0.059	0.315	0.017					2.70	3.47	1.55	0.862	1.14	0.397
100	0.770	0.141	0.594	0.072	0.350	0.020			0.261	0.010	3.00	4.25	1.72	1.05	1.27	0.488
150	1.15	0.295	0.810	0.125	0.524	0.042			0.304	0.011	4.50	9.30	2.58	2.26	1.90	1.03
200	1.54	0.512	1.08	0.212	0.699	0.072			0.405	0.019			3.44	3.91	2.54	1.81
250	1.92	0.773	1.35	0.322	0.874	0.108			0.653	0.053	0.507	0.028			3.17	2.74
300	2.31	1.10	1.62	0.449	1.05	0.152			0.784	0.074	0.608	0.040	0.387	0.014	3.80	3.82
350	2.69	1.47	1.89	0.606	1.22	0.203			0.915	0.099	0.710	0.053	0.452	0.018	4.44	5.18
400	3.08	1.92	2.16	0.780	1.40	0.264			1.05	0.128	0.811	0.068	0.516	0.023	5.07	6.69
450	3.46	2.39	2.43	0.979	1.57	0.329			1.18	0.161	0.912	0.084	0.581	0.028	5.71	8.45
500	3.85	2.95	2.70	1.20	1.75	0.403			1.31	0.196	1.01	0.101	0.646	0.034		
550	4.23	3.55	2.97	1.44	1.92	0.479			1.44	0.232	1.11	0.122	0.710	0.041	0.447	0.014
600	4.62	4.20	3.24	1.69	2.10	0.566			1.57	0.273	1.22	0.146	0.775	0.047	0.491	0.016
650	5.00	6.88	3.51	1.97	2.27	0.658			1.70	0.319	1.32	0.169	0.839	0.055	0.536	0.019
700	5.39	5.63	3.78	2.28	2.45	0.759			1.83	0.368	1.42	0.194	0.904	0.063	0.581	0.022
750	5.77	6.44	4.05	2.60	2.62	0.863			1.96	0.420	1.52	0.218	0.968	0.072	0.625	0.025
800			4.32	2.95	2.80	0.977			2.09	0.473	1.62	0.246	1.03	0.081	0.670	0.029
850			4.59	3.31	2.97	1.09			2.22	0.528	1.72	0.277	1.10	0.091	0.715	0.032
900					3.15	1.22			2.35	0.585	1.82	0.308	1.16	0.101	0.760	0.036
950					3.32	1.35			2.48	0.649	1.93	0.342	1.23	0.111	0.804	0.041
1000					3.5	1.50			2.61	0.714	2.03	0.377	1.29	0.122	0.849	0.045
1100					3.85	1.75			2.87	0.860	2.23	0.452	1.42	0.147	0.884	0.049
1200					4.20	2.14			3.14	1.02	2.43	0.534	1.55	0.172	0.923	0.059
1300									3.40	1.19	2.64	0.627	1.68	0.200	1.07	0.069
1400									3.66	1.37	2.84	0.722	1.81	0.232	1.16	0.080
1500									3.92	1.56	3.04	0.818	1.94	0.264	1.25	0.091
1600									4.18	1.78	3.24	0.924	2.07	0.297	1.34	0.105
1700									4.44	1.99	3.45	1.04	2.19	0.331	1.43	0.118
1800	0.590	0.012									3.65	1.16	2.32	0.369	1.52	0.132
1900	0.622	0.014									3.85	1.28	2.45	0.410	1.61	0.147
2000	0.655	0.015									4.05	1.41	2.58	0.452	1.70	0.163
2200	0.721	0.018									4.46	1.70	2.84	0.545	1.79	0.181
2400	0.786	0.021											3.10	0.645	1.97	0.217
2600	0.852	0.025	0.600	0.010									3.36	0.749	2.14	0.253
2800	0.917	0.028	0.646	0.012									3.61	0.859	2.32	0.296
3000	0.983	0.032	0.692	0.013	0.573	0.008							3.87	0.982	2.50	0.339
3500	1.15	0.043	0.810	0.018	0.668	0.011							4.52	1.33	2.68	0.387
4000	1.31	0.055	0.923	0.023	0.764	0.014							5.16	1.72	3.13	0.526
4500	1.47	0.068	1.04	0.029	0.860	0.018	0.658	0.009							3.57	0.673
5000	1.64	0.084	1.15	0.034	0.955	0.022	0.731	0.011							4.02	0.853
6000	1.96	0.118	1.38	0.049	1.15	0.031									4.47	1.04
7000	2.29	0.158	1.61	0.065	1.34	0.042	0.877	0.016							5.36	1.47
8000	2.62	0.204	1.84	0.085	1.53	0.054	1.02	0.021	0.808	0.012					6.25	2.0
9000	2.95	0.256	2.08	0.107	1.72	0.067	1.17	0.027	0.924	0.015					7.15	2.59
0 000	3.28	0.313	2.31	0.130	1.91	0.081	1.31	0.033	1.04	0.019						
2 000	3.93	0.447	2.77	0.184	2.29	0.114	1.46	0.041	1.15	0.023						
4 000	4.59	0.600	3.23	0.246	2.67	0.153	1.75	0.057	1.38	0.032	1.11	0.019				
6 000	5.24	0.776	3.69	0.317	3.06	0.198	2.05	0.077	1.62	0.044	1.30	0.025				
8 000	5.90	0.975	4.15	0.398	3.44	0.246	2.34	0.099	1.85	0.056	1.49	0.032	1.03	0.013		
0 000	6.55	1.19	4.61	0.487	3.82	0.302	2.63	0.124	2.08	0.069	1.67	0.040	1.16	0.016		
5 000	8.19	1.83	5.77	0.758	4.77	0.469	2.92	0.152	2.31	0.084	1.86	0.049	1.28	0.020		
0 000			6.92	1.08	5.73	0.669	3.65	0.234	2.89	0.130	2.32	0.076	1.61	0.030		
0 000			8.07	1.46	6.68	0.903	4.38	0.332	3.46	0.183	2.79	0.108	1.93	0.043		
0 000			9.23	1.90	7.64	1.17	5.12	0.446	4.04	0.248	3.25	0.144	2.25	0.057		
0 000			10.38	2.39	8.59	1.47	5.85	0.578	4.62	0.319	3.72	0.186	2.57	0.074		
0 000					9.55	1.81	6.58	0.726	5.19	0.400	4.18	0.233	2.89	0.092		
0 000							7.31	0.888	5.77	0.491	4.64	0.284	3.21	0.113		
0 000							8.04	1.07	6.35	0.594	5.11	0.343	3.53	0.136		
0 000							8.77	1.27	6.93	0.708	5.58	0.411	3.86	0.161		
0 000							9.5	1.49	7.50	0.822	6.04	0.475	4.18	0.189		
0 000							10.2	1.70	8.08	0.955	6.51	0.552	4.50	0.216		
5 000							11.0	1.98	8.66	1.10	6.97	0.628	4.82	0.246		