

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS MEXICALI**

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E
INGENIERIA**



**Criterios hidráulicos para el diseño y modelación de sistemas automáticos
de rociadores tipo parrilla en edificaciones industriales.**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRIA EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ING. LUZ AMALIA PEÑA VÁSQUEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ALVARO ALBERTO LOPEZ LAMBRAÑO

INDICE

SECCION	PAGINA
CAPITULO 1: INTRODUCCION	1
1.1 Finalidad e Importancia de los Sistemas Contra Incendio	1
1.2 Antecedentes	4
1.2.1 NFPA y los Estándares Contra Incendio.	6
1.2.2 Las primeras Investigaciones Contra Incendio y los grandes Laboratorios.	9
1.3 Estado del Arte	12
1.3.1 Asociaciones Internacionales.	12
SFPE	12
CFPA-I	13
CTIF: Comité Technique International de Prévention et d'Extinction du Feu	14
NFPA – National Fire Protection Association.	14
NFSA – National Fire Sprinkler Association	15
IFSA – International Fire Sprinkler Association	16
European Fire Sprinkler Network	16
Fm Global	16
1.3.2 Los Sistemas Contra Incendio y el Panorama Internacional.	19
1.3.2.1 Estados Unidos	19
1.3.2.2 Reino Unido	19
1.3.2.3 Dubai	22
1.3.2.4 Nueva Zelanda	24
1.3.2.5 Indonesia	27
1.3.3 Latinoamérica: Avances en Normativa y Sistemas Contra Incendio.	30
1.3.3.1 Colombia	32
1.3.3.2 Brasil	33
1.3.3.3 Argentina	34
1.3.3.4 Paraguay	34
1.3.4 México: Situación Actual.	36
1.4 Justificación	41
1.5 Objetivo General y Específicos.	43

CAPITULO 2. MARCO TEORICO	44
2.1 FUEGO	44
2.1.1 Química y Física del Fuego	44
2.1.2 Clasificación y Desarrollo de un Incendio	47
2.1.3 Extinción de Incendios	55
2.1.3.1 Extinción Con Agua	56
2.1.3.2 Extinción con Espuma	56
2.1.3.3 Extinción con Niebla de Agua	57
2.1.3.4 Extinción con gases inertes.	58
2.1.3.5 Extinción con agentes halogenados	58
2.1.3.6 Extinción con Agentes de Químicos Secos	59
2.1.3.7 Casos especiales de Extinción.	60
2.1.4 Productos de la Combustión	61
2.1.4.1 Llamas	62
2.1.4.2 Calor	62
2.1.4.3 Humo	63
2.1.4.4 Gases de la Combustión	63
2.1.5 Clasificación De Fuego	64
2.1.5.1 Clasificación del fuego por NFPA.	64
2.1.5.2 Clasificación del fuego por FM Global	65
2.1.5.3 Clasificación del fuego según la NTC	66
2.1.5.4 Clasificación del fuego según la Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2010.	66
2.2 RIESGO DE INCENDIO EN EDIFICACIONES	68
2.2.1 Análisis de Riesgo	68
2.2.2 Clasificación de Riesgo	69
2.2.2.1 Clasificación de Riesgo por NFPA	69
2.2.2.2 Clasificación de Riesgo por FM Global	76
2.2.2.3 Clasificación de Riesgo en México.	84
2.3 SISTEMAS CONTRA INCENDIO	90
2.3.1 Clasificación de sistemas para el combate de incendios.	90
2.3.2 Importancia del Diseño de Sistemas Contra Incendio.	94
2.3.2.1 Bases Filosóficas para un Eficiente Sistema de Protección contra Incendios	97
2.3.2.2 Ingeniería de Protección contra Incendio.	99
2.3.2.3 Diseño Basado en Desempeño	101
2.4 SISTEMA AUTOMATICO DE ROCIADORES CONTRA INCENDIO	105
2.4.1 Definición y Generalidades	105

2.4.2	Suministro de Agua	107
2.4.2.1	Ubicación	110
2.4.2.2	Capacidad de los tanques.	110
2.4.3	Sistema de Bombeo	114
2.4.3.1	Bomba Contra Incendio	114
2.4.3.2	Capacidad y Características Técnicas de la Bomba	115
2.4.3.3	Contra Incendio. Tuberías y componentes de Succión y Descarga.	116
2.4.3.4	Bomba Jockey	118
2.4.3.5	Cuarto de bombas	120
2.4.4	Toma Siamesa	121
2.4.4.1	Definición	121
2.4.4.2	Ubicación y características	121
2.4.5	Tubería Subterránea.	123
2.4.5.1	Requerimientos	123
2.4.6	Hidrantes de patio	124
2.4.6.1	Definición	124
2.4.7	Riser (Alimentador)	126
2.4.7.1	Elementos	126
2.4.8	Tubería Aérea	128
2.4.8.1	Especificaciones básicas.	128
2.4.8.2	Configuración de tubería área para sistema de rociadores.	129
2.4.9	Gabinetes contra incendio	131
2.4.9.1	Definición	131
2.4.9.2	Requerimientos de Presión y Distribución	133
2.4.10	Extintores	136
2.4.10.1	Definición	136
2.4.10.2	Requerimientos de ubicación.	137
2.4.11	Rociadores	139
2.4.11.1	Componentes de un Rociador	140
2.4.11.2	Principios del Desempeño de Rociadores	140
2.4.11.3	Clasificación por temperatura	143
2.4.11.4	Clasificación por descarga	144
2.4.12	Soportería elemental y antisísmica	148
2.4.12.1	Definición	148
2.4.12.2	Soportería Antisísmica	149
2.4.12.3	Tipos de soporte antisísmico	150
2.5	Tipos de Sistemas Automáticos de Rociadores Contra Incendio	153

2.5.1	Funcionamiento Básico.	153
2.5.2	Tipos de Sistemas de Rociadores.	155
2.6	Hidráulica para Protección Contra Incendios.	157
2.6.1	Propiedades Físicas del Agua.	157
2.6.2	Presión.	159
2.6.3	Teorema de Bernoulli.	160
2.6.4	Caudal a través de Orificios.	161
2.6.5	Flujo de agua en Tuberías.	163
2.6.5.1	Flujo por Pérdidas por Fricción.	164
2.6.5.2	Pérdidas menores.	166
CAPITULO 3:	DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATICO DE	169
	ROCIADORES	
3.1	Clasificación del Inmueble	169
3.2	Clasificación de Riesgo.	170
3.2.1	De acuerdo a la NOM-002-STPS-2010	170
3.2.2	De acuerdo al estándar NFPA 13	170
3.2.3	De acuerdo a FM Ficha Técnica 3-26.	171
3.2.4	Tabla Comparativa para la Clasificación de Riesgo de acuerdo a NOM-002, NFPA 13 Y FMDS 3-26.	172
3.3	Determinación de Densidades de Flujo para Rociadores.	173
3.3.1	Densidad de Flujo por NFPA 13.	173
3.3.2	Densidad de Flujo por FM DS-3-26.	174
3.3.3	Tabla Comparativa para obtención de Densidades Diseño para Rociadores de acuerdo a NOM-002, NFPA 13 Y FMDS 3-26.	176
3.4	Determinación del Flujo de Mangueras para un Sistema de Rociadores de acuerdo al riesgo de incendio.	176
3.4.1	De acuerdo a NFPA 13.	177
3.4.2	De acuerdo a FMDS-3-26.	178
3.4.3	Tabla comparativa para la duración y demanda de agua de Mangueras para Sistemas de Rociadores.	178
3.5	Obtención del Criterio de Diseño.	179
3.6	Cálculo de la demanda de Agua para el Sistema.	180
3.7	Cálculo para determinar la Capacidad de la Bomba Contra Incendio.	181
3.7.1	Bomba Principal Contra Incendio	181
3.7.2	Curva de la bomba.	182
3.7.3	Bomba Jockey	184
3.8	Selección del Rociador.	184
3.8.1	Factor K del Rociador de acuerdo a NFPA 13.	184

3.8.2	Factor K del Rociador de acuerdo a FMDS-3-26.	185
3.8.3	Tabla comparativa para la selección del Factor K del Rociador.	186
3.8.4	Selección de Temperatura del Rociador.	186
3.9	Área de Diseño para el Cálculo de Rociadores.	187
3.9.1	Limitación de Área para Distribución de sistemas.	187
3.9.2	Planteamiento general de datos para el área de cálculo.	187
3.9.3	Área de Cobertura y Espaciamiento Máximo.	188
3.9.4	Flujo y Presión mínima del Rociador.	189
3.9.4.1	Flujo mínimo	189
3.9.4.2	Presión al rociador más remoto	191
3.9.5	Número de rociadores para el área de Cálculo	191
3.9.6	Configuración del Área de Cálculo.	192
3.10	Resultados del Diseño.	195
3.10.1	Criterios de Diseño con base en NFPA 13.	195
 CAPITULO 4. MODELACION DE UN SISTEMA AUTOMATICO DE ROCIADORES CONTRA INCENDIO		 197
4.1	Definición de Modelado y Simulación.	197
4.2	Programas de cómputo especializados para el diseño de un Sistema de Rociadores Contra Incendio.	198
4.3	Principios del Software EPANET 2.0	199
4.4	EPANET Para la simulación de Redes Contra Incendio.	202
4.4.1	Representación Gráfica de un Sistema Contra Incendio.	203
4.5	Ingreso de Datos en EPANET para la Modelación de un Sistema de Rociadores	203
4.5.1	Nomenclatura de Nodos.	203
4.5.2	Datos para Rociadores.	204
4.5.2.1	Elevación.	204
4.5.2.2	Coeficiente de emisión.	205
4.5.3	Tubería y Accesorios.	208
4.5.3.1	Longitud:	209
4.5.3.2	Diámetro:	210
4.5.3.3	Rugosidad.	210
4.5.4	Válvulas	211
4.5.5	Bomba	211
4.5.6	Tanque	213
4.6	Resultados de la Modelación de un Sistema de Rociadores en EPANET 2.0	214
4.6.1	Resultados de Flujo y Presión en los Nodos.	217

4.6.2 Resultados de Flujo y Presión en el Resto del Sistema.	220
4.6.3 Resultados de Velocidad en los Nodos.	223
4.6.4 Resultados de Velocidad en el Resto del Sistema.	226
4.6.5 Grafica Hidráulica de Demanda del Sistema.	229
CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	232
5.1 Conclusiones	232
5.2 Recomendaciones	234
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	235

INDICE DE TABLAS

ID	TABLA	PAGINA
1.1	Cronología de Incendios en México de 1984 a Abril de 2016.	3
1.2	Códigos Neozelandeses y su adaptación a NFPA 13	25
1.3	Tiempo de Respuesta para Ciertos Países	29
2.1	Ejemplos de Punto de ignición y temperaturas de auto ignición	45
2.2	Determinación de riesgo de incendio	84
2.3	Grado de Riesgo para Edificaciones No habitacionales según la NTC.	87
2.4	Grado de Riesgo para Edificaciones con Vivienda según la NTC.	88
2.5	Dispositivos para prevenir y combatir incendios, según la NTC.	89
2.6	Requerimiento de Duración para Demanda de agua y suministro de gabinetes para Sistemas Hidráulicamente Calculados”.	113
2.7	Demanda de Agua para Gabinetes y su Duración	113
2.8	Capacidades de Bombas Centrifugas contra incendio	115
2.9	Diámetros mínimos para componentes en sistema de bombeo contra incendio.	119
2.10	Altura del Extintor según las Normas Vigentes	137
2.11	Distancias de Recorrido para extintores, según el riesgo y tipo de fuego.	138
2.12	Rangos de Temperatura, Clasificación y Código de color para Rociadores según NFPA 13	143
2.13	Identificación de rociadores por su característica de Descarga, según NFPA 13, edición 2016	147
2.14	Factor K mínimo para rociadores por Categoría de Riesgo por FM	148
3.1	Clasificación de Riesgo de acuerdo a la NOM-002-STPS-2010, por superficie construida	170
3.2	Clasificación de Riesgo de acuerdo a NFPA 13 edición 2016	171
3.3	Clasificación de Riesgo de acuerdo a FM 3-26	171
3.4	Tabla comparativa para la Clasificación de Riesgo.	172
3.5	Densidades de acuerdo a NFPA 13.	174
3.6	Demanda para el diseño de Rociadores por Categoría de Riesgo, de acuerdo a FMDS 3-26.	175
3.7	Densidades de acuerdo a FMDS 3-26	175
3.8	Tabla comparativa por normativa para la Obtención de Densidades de Diseño.	176
3.9	Requerimientos de la demanda de agua para Mangueras por	177

NFPA 13

3.10	Requerimientos de Demanda y duración para mangueras por FMDS 3-26	178
3.11	Tabla comparativa por área para la duración y demanda de agua de Mangueras para Sistemas de Rociadores.	178
3.12	Criterios de Diseño bajo lo establecido por el estándar NFPA 13.	179
3.13a	Demanda de Agua para el Sistema de Rociadores, por Área, por NFPA 13.	180
3.13b	Demanda de Agua para el Sistema de Rociadores por Área, por FM.	181
3.14	Capacidad de la bomba principal contra incendio	182
3.15	Factores K mínimos para rociadores estándar en Almacén, de acuerdo a NFPA 13.	185
3.16	Factores K mínimos por categoría de riesgo de acuerdo a FM, DS 3-26.	185
3.17	Selección de Factores K para Rociadores	186
3.18	Áreas máximas por Riser, de acuerdo a NFPA 13.	187
3.19	Tabla de Datos de diseño para el cálculo de rociadores en el Área de Manufactura	188
3.20	Área de cobertura y espaciamiento máximo para rociador Estándar y riesgo Extra Ordinario, para sistemas hidráulicamente calculados.	189
3.21	Criterios de diseño para el Área de Manufactura	195
4.1	Matriz de costos para programas de cálculo para Sistemas de Rociadores	200
4.2	Puntos para una bomba contra incendio de 1500 gpm operando a 140 psi	211
4.3	Identificación de elementos en EPANET 2.0	214
4.3b	Identificación de elementos gráficos	214
4.4	Comparación y análisis de resultados	217
4.5	Comparación y análisis de resultados para la presión en el resto del sistema	221
4.6	Comparación y análisis de velocidades en el área de Rociadores	223
4.7	Comparación y análisis de velocidades en el sistema.	226
4.8	Valores para la construcción de la gráfica de Demanda Hidráulica	231

INDICE DE FIGURAS

ID	TABLA	PAGINA
2.1	Clasificación de Incendios según NFPA.	49
2.2	Clasificación de Riesgo por Ocupación según NFPA	71
2.3	Ejemplos de ocupación por riesgo	72
2.4	Clasificación por contenidos y almacenamiento según NFPA.	76
2.5	Ejemplos de la clasificación por <i>commodity</i>	77
2.6	Componentes de una mercancía almacenada por FM Global	79
2.7	Clasificación de riesgo de incendio según FM-Global.	82
2.8	Ejemplos por ocupación con almacenamiento según FM Global	83
2.9	Curvas características de las bombas, tomadas de Fm-Global, ficha técnica FMDS 3-7	117
2.10	Toma siamesa	123
2.11	Hidrante de patio	125
2.12	Hidrante de pared para conexión de manguera	126
2.13	Configuración tipo Árbol	130
2.14	Sistema tipo Anillo (<i>loop</i>).	132
2.15	Sistema tipo Parrilla (<i>grid</i>).	132
2.16	Manguera contra incendio	135
2.17	Extintor contra incendio	136
2.18	Componentes de un rociador contra incendio	140
2.19	Configuración de rociadores estandar, según la posición del deflector.	142
2.20	Clasificación de Rociadores según NFPA 13	145
2.21	Zonificación Sísmica de México	151
2.22	Mapa de zonas sísmicas en Norte América	152
3.1	Distribución de Rociadores en el área de Cálculo.	194
4.1	Coeficiente de emisión en el sistema de rociadores.	206
4.2	Curva de la bomba contra incendio en EPANET 2.0	212
4.3	Asignación de la curva a la bomba del sistema	212

4.4	Ingreso de Datos para el Tanque contra incendio.	213
4.5a	Representación Gráfica del Sistema de Rociadores en EPANET 2.0	215
4.5b	Representación Gráfica del Sistema de Rociadores en EPANET 2.0 (Riser a Tanque).	216

INDICE DE GRAFICAS

ID	TABLA	PAGINA
3.1	Curvas de Área/Densidad por NFPA 13.	173
3.2	Curva de Desempeño de una bomba con capacidad de 1500 gpm.	183
4.1	Resultados de Flujo en los Rociadores.	218
4.2	Flujo Promedio en Área de rociadores	219
4.3	Resultados de Presión en los Rociadores	219
4.4	Presiones Promedio en el Área de Rociadores	220
4.5	Resultados de Presión en el resto del Sistema	222
4.6	Presiones promedio en el resto del sistema.	222
4.7	Velocidades en el Área de Rociadores.	224
4.8	Velocidades Promedio en el Área de Rociadores	225
4.9	Velocidades en el Sistema.	227
4.10	Velocidades Promedio en el Sistema	228
4.11	Grafica Hidráulica para el Sistema de Rociadores en HYDRONICS	230
4.12	Grafica Hidráulica para el Sistema de Rociadores a partir de los resultados en EPANET.	231

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Finalidad e Importancia de los Sistemas Contra Incendio

A lo largo de los últimos doscientos años, la ingeniería y la normativa de los sistemas contra incendio, han sido impulsadas y desarrolladas a través de asociaciones internacionales, comités y profesionales dedicados a la investigación e innovación en el campo.

El panorama mundial, la globalización y las nuevas tecnologías han suministrado al área de la ingeniería contra fuego grandes avances en materia de estándares, modelación e investigación. Los países desarrollados continúan reevaluando y mejorando la normativa que los rige y enriqueciendo los estándares internacionales que marcan la pauta para el diseño e instalación de sistemas contra incendio, para cumplir con su fin primordial que es salvar vidas y proteger bienes inmuebles, de acuerdo a lo establecido por la *National Fire Protection Association* (NFPA).

En las últimas dos décadas los sistemas contraincendios han tomado una importancia significativa en México, principalmente en el sector comercial e industrial, donde la cantidad y acumulación de combustibles, gases, fluidos inflamables y las condiciones estructurales dificultan una intervención manual a un incendio. El diseño e instalación de sistemas contra fuego en naves industriales y comercios, se deben a la introducción al país de grandes empresas transnacionales, las cuales por requerimiento propio han protegido sus inmuebles y sus contenidos con un sistema contra incendio, basados en normas internacionales como NFPA y/o compañías aseguradoras como FM Global. En la

actualidad, las empresas se desarrollan con base a actividades globales y todas estas plantas industriales se encuentran vinculadas y forman parte de una cadena productiva; por lo que la importancia de los sistemas contra incendio, radica en evitar que esta cadena se rompa, es decir, si alguna planta se ve siniestrada por un incendio, se ocasionarían enormes costos humanos y pérdidas económicas importantes [1].

En México, las normas oficiales mexicanas y códigos locales de seguridad civil, requieren para construcciones comerciales e industriales sistemas fijos contraincendios. Los documentos para protección contra incendio se pueden encontrar en Reglamentos de bomberos y/o Normas de Construcción, los cuales varían de ciudad a ciudad y entre estados. Sin embargo, todos ellos están basados en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que son aquellas que rigen a México a nivel Federal. No es extraño que la Normas Oficial no coincida con los reglamentos de cada municipio, pues estos últimos se adaptan a las necesidades especiales y específicas para cada región, mientras la NOM, regula estas especificaciones a nivel nacional [2]. Sin embargo, la falta de capacitación, procedimientos, supervisión, seguimiento y equipo, han cobrado muchas vidas y perdidas económicas importantes.

Particularmente México, ha sido testigo de tragedias provocadas por el fuego donde se han perdido miles de vidas y se han reportado innumerables daños a bienes inmuebles.

La tabla 1.1.1 muestra un registro de los eventos más significativos de 1984 a 2016, según diversas fuentes editoriales mexicanas.

Es por ello que a partir del 2014, México se encuentra en la tarea de reevaluar su normativa y adecuar los estándares internacionales a las condiciones técnicas que ofrece nuestro país para la protección contra incendio, y de esta manera homologar criterios básicos en un solo proyecto de normativa y promover su obligatoriedad.

Tabla 1.1 – Cronología de Incendios en México de 1984 a Abril de 2016.

Fecha	Lugar	Motivo	Victimas		Notas
			Muertos	Heridos	
19 Nov. 1984	San Janico, Edo. México	Depósitos de gas provocan explosión en cadena.	500	Cientos	
22 Abr. 1992	Guadalajara, Jalisco	Incendios por fugas de gas en alcantarillado provocan explosiones en cadena.	210	Cientos	
26 Sep. 1999	Celaya, Guanajuato	Explosiones en bodegas de material pirotécnico.	73	350	
20 Oct. 2000	México D.F.	Corto circuito en cabina de iluminación.	22	30	Propiedad operaba a través de una "renovación de licencia", donde la ley no obliga al propietario contar aun, con las medidas de seguridad.
31 Dic. 2002	Veracruz	Explosión por artefactos pirotécnicos.	28	30	15 Desaparecidos
5 Jun. 2009	Hermosillo, Son.	Incendio en guardería por sobrecalentamiento de sistema de enfriamiento.	49	106	Niños entre 5 meses y 5 años de edad. Lugar sin las normas mínimas de protección contra incendio.
19 Dic. 2010	San Martín Texmelucan, Puebla	Incendio y explosión de tomas clandestinas en ductos de Petróleos Mexicanos.	29	52	200 refugiados. Cuantiosos daños materiales y afectaciones en por lo menos 80 viviendas.
25 Ago. 2011	Monterrey, Nuevo León.	Incendio provocado al rociar gasolina en casino.	53	10	
31 Ene. 2013	Ciudad de México	Explosión en oficinas centrales de Petróleos Mexicanos por acumulación de gas metano.	37	126	
7 May. 2013	Ecatepec, Edo. México	Explosión de un camión cargado con gas.	24	36	45 Viviendas afectadas.
29 Ene. 2015	Cuajimalpa, Edo. de México	Explosión de pipa de gas junto a hospital materno infantil.	7	70	Más del 70% del hospital colapsó.
23 Jun. 2015	Mexicali B.C.	Incendio en Asilo de Ancianos "Hermoso Atardecer", por quema de cajas de cartón alcanzo un sitio de almacenamiento de madera.	17	5	El asilo operaba de manera ilegal y sin las medidas mínimas de seguridad bajo lo establecido por la NOM. El peritaje del Departamento de Bomberos de Mexicali, dictaminó que incendio fue provocado.
27 Abr. 2016	Mexicali B.C.	Incendio en Tianguis "Jasco"	1	0	Falle bombero en cumplimiento del deber. Pérdida total del inmueble. Se desconoce el motivo del incendio.

La importancia del desarrollo y la revisión constante de la normativa nacional e internacional, radica en el diseño, instalación y supervisión efectivos de los sistemas contra incendio, para un funcionamiento adecuado de estas

instalaciones. Lográndose al promover certificaciones obligatorias para la elaboración de proyectos y supervisión de este tipo de sistemas hidráulicos.

1.2 Antecedentes

Los sistemas de rociadores automáticos, constituye uno de los inventos más importantes para el control del incendio, concebidos y utilizados en la segunda mitad del siglo XIX [3].

Sin embargo, en 1723, Ambrose Godfrey creó lo que se conoce como el primer dispositivo para el combate de incendios, este, consistía en un barril de madera con agua en su interior. Los barriles eran colocados estratégicamente en toda el área que se deseaba proteger y estaban unidos por una serie de explosivos con la finalidad que estos, fueran activados por el fuego y explotaran esparciendo el agua sobre las llamas del incendio. La desventaja de estos dispositivos era que el fuego necesariamente tenía que coincidir con la ubicación de algún barril, pues de lo contrario, no se activarían [4].

El sistema de barriles mejoró con el tiempo. Se propuso colocarlos en un lugar estratégico, de tal manera que al ocurrir un incendio, una persona entrenada debía correr al lugar donde se encontraban los barriles, rodarlo hacia el fuego y esperar que se encendiera el explosivo pegado al y explotara [4].

Posteriormente, para el siglo XIX, las mejoras fueron mayores, se propusieron tuberías perforadas y tapones fusibles [4].

En términos de innovación, el primer arreglo para llevar agua a través de una serie de tuberías, para la protección contra incendio, fue 1806, por Jhon Carey de Inglaterra. Este concepto eventualmente llegó a las costas de Norte América [3]. Carey, mejoró un sistema de tuberías el cual estaba conectado a un tanque elevado. El problema era evitar que el agua fluyera constantemente por las tuberías. Para ello, Carey colocó un tanque elevado con un tapón unido a una serie de pesas por medio de cuerdas. De esta manera, al ocurrir un incendio la

cuerda se rompía y dejaba caer la pesa al suelo, esto a su vez retiraba el tapón del tanque elevado y permitía el flujo a través de las tuberías perforadas. El inconveniente era que el agua fluía por todas las tuberías, arrojando agua en lugares donde no había fuego [4].

Sin embargo, propiamente, el primer sistema de rociadores contra incendio es atribuido a James Bitchens Francis, de Estados Unidos. Francis fue el responsable de perforar un sistema de tuberías instalado en 1852 en la compañía *Plant of the Proprietors of the Locks and Canals* en Lowell Massachusetts [3].

En 1874, Henry S. Parmelee de New Haven, Connecticut, obtuvo la patente del rociador como hoy se conoce [3]. Parmelee era el presidente de una compañía de pianos, la cual se incendió completamente. Después de esto, se dedicó a buscar e idear la manera de proteger su fábrica de futuros incendios, para evitar otras tragedias como la que ya había ocurrido [4].

De esta manera, Henry Parmelee, creó el primer rociador automático funcional, este fue un dispositivo perforado (cabeza), el cual contenía una válvula sellada por un resorte pesado contra la presión del agua. Esta cabeza estaba hecha de material de baja fusión, la soldadura en la orilla del tapón que evitaba el flujo de agua, se derretía a 160°F (71.1 °C), al derretirse la soldadura el tapón salía expulsado por la presión del agua y esta a su vez, fluía sobre el incendio [4]. Dicha invención fue similar a un dispositivo creado, pero no patentado por el Mayor A. Steward Harrison del *First Engineer London Volunteers* en 1864.

La primera patente de un sistema de rociadores es atribuida a Philip W. Pratt de Abington, Massachusetts en 1872. El sistema operaba por una válvula la cual estaba unida a cuerdas y fusibles. Cuando estas cuerdas y fusibles se fundían por la presencia del fuego, la válvula se abría liberando una corriente de agua [3].

A principios del siglo XX, se realizaron innumerables mejoras en los fusibles de los rociadores y en los patrones de descarga. Anteriormente, se creía que para contrarrestar el fuego era necesario diseñar un rociador de tal manera que arrojara

agua hacia la cubierta para mojarla y enfriarla y el resto del agua debía ser esparcida hacia abajo, a esta tipo de rociador se le conoce como “convencional”.

Este rociador “convencional” se desarrolló entre 1952 y 1953, con un patrón de pulverización más eficiente en forma de sombrilla. Este rociador por pulverización, se convirtió en el rociador estándar en 1958 para el uso de conformidad con la NFPA 13; y los rociadores de diseño anterior se conocieron como rociadores “de modelo antiguo” o “convencionales”. El nuevo diseño del deflector fue el elemento principal de los nuevos rociadores estándar [5].

Posteriormente, estudios y pruebas, determinaron que no era necesario arrojar el agua hacia la parte superior del rociador, por lo que se creó el rociador “standard”, el cual arroja el agua hacia debajo de tal manera que ataca el fuego con la totalidad del agua que sale por él [4].

Entre los años 1970 y 1980, se creó el rociador residencial, el cual actúa de manera más rápida a fin de preservar la vida humana [4].

Debido a que los rociadores se habían creado para controlar el fuego, se tuvo la necesidad de desarrollar un rociador que extinguiera por completo el fuego, por lo cual en 1893, la aseguradora Factory Mutual (FM), creó el primero rociador de supresión temprana y respuesta rápida (ESFR) [4]. Los rociadores ESFR, son utilizados principalmente en áreas de almacenamiento y áreas de alto riesgo, de esta manera para 1990 los sistemas ESFR comenzaron a ser instalados en almacenes y centros de distribución [6].

1.2.1 NFPA y los Estándares Contra Incendio.

A finales del siglo XIX los sistemas de rociadores eran tan confiables y redituables que las compañías aseguradoras ofrecían descuentos en las primas de seguros. Sin embargo esto produjo que cada compañía desarrollara sus propios estándares de instalación. Por ello en 1890, miembros de las

aseguradoras y fabricantes, se unieron para formar la asociación que ahora conocemos como la NFPA (*National Fire Protection Association*) [4].

Anterior a la creación de la NFPA, en el año de 1879, Thomas Alba Edison, patentó la primera lámpara incandescente y con este invento que revolucionó la industria global, llegó también la creación de una de las Asociaciones más importantes en el mundo, pioneras en la protección contra incendio: la NFPA (*National Fire Protection Association*) [3].

Edison, fue además de un brillante inventor, pionero en la seguridad eléctrica. Él indicó en un inicio su preocupación por la seguridad en los circuitos eléctricos y estableció medidas para el aislamiento de cables y fusibles para evitar desastres mayores. Al crecer la industria eléctrica, la cual se desarrollaba en corriente alterna, se presentaron incendios catastróficos. En 1881, la compañía de seguros más importante en Estados Unidos, reportó en Nueva Inglaterra que se contaban con 65 instalaciones eléctricas, de las cuales se habían reportado 23 alarmantes incendios en seis meses [3].

En 1886, Jhon Freeman, se unió a la compañía *Factory Mutual Inspection Department* y así pasaría los siguientes diez años revitalizando esta organización y sus enfoques en protección contra incendio, dándole unas verdaderas bases científicas, a través de la experimentación hidráulica. Este punto es considerado como el inicio de los Laboratorios Factory Mutual, ahora conocidos como FM *Approvals*. Pioneros en su campo, los Laboratorios FM son los primeros laboratorios permanentes en los Estados Unidos y posiblemente en el mundo, dedicados a las pruebas de los dispositivos contra incendio [3] [7].

En 1892, Freeman desarrolló una extensiva serie de pruebas para determinar los diámetros necesarios en las tuberías para proporcionar el volumen adecuado a cada rociador dentro del sistema. Sus resultados siguen siendo las bases para los cálculos hidráulicos de los sistemas de rociadores contra incendio [7].

Debido a los problemas suscitados en distintas ciudades y especialmente en Chicago, se forman en 1894 los *Underwriters Electrical Bureau* denominado *The Electrical Bureau of the National Board of Fire Underwriters*, que se encarga de experimentar con electricidad y fuego siendo este un paso más hacia regulaciones y protección de civiles contra este tipo de desastres. La primera prueba de esta institución se realizó el 24 de marzo de 1894 en material aislante no combustible para la empresa “*Mr. Shields*” [8]. Para 1899 ya se habían realizado más de 1000 pruebas y reportes en diversos productos y dispositivos eléctricos incluidas cajas de alarmas contra incendio, cable flexible, fusibles, calentadores, entre otros [3].

Para 1896, la comunidad eléctrica de Estados Unidos tenía ya cinco códigos eléctricos, lo cual significaba cinco juegos de reglas a seguir para instalación y seguridad, lo cual creaba gran confusión [3].

En marzo de 1896, en la ciudad de Nueva York, se convocó a una reunión para unificar criterios, el tópico ya no fue sobre el tema eléctrico sino sobre agua, fuego y rociadores, especialmente acerca de sus reglas de instalación, las cuales eventualmente se convirtieron en el primer estándar de la *National Fire Protection Association* (NFPA) 13, el cual actualmente brinda bases y reglas para la instalación de un sistema de rociadores contra incendio [3], [9]. A consecuencia de esto, muchas compañías aseguradoras desearon sus propios estándares y adoptaron el NFPA 13 [4].

De esta manera, nace la Asociación más importante a nivel mundial encargada de la regulación de sistemas contra incendio, materiales y criterios, la NFPA [3].

La normativa internacional, se basa en los estándares de la NFPA, que se encarga de desarrollar, publicar y difundir más de 300 códigos y estándares con la intención de minimizar la posibilidad y efectos de fuego y otros riesgos [10].

1.2.2 Las primeras Investigaciones Contra Incendio y los grandes Laboratorios.

La industria contra incendio y las investigaciones a nivel internacional, continuaron innovando y buscando productos más eficientes contra el fuego.

En 1903, los *Underwriter Laboratories* (UL), publica su primer estándar de seguridad titulado “*Tin Clad Fire Doors*”. Dos años después los laboratorios certifican las primeras luces navideñas multicolores y el primer extintor contra incendio. En 1908, para realizar la primera prueba de seguridad en cerillos, los ingenieros los colocaron en un tubo de prueba inmerso en aceite y lo calentaron con un quemador eléctrico obteniendo y revisando su punto de ignición [8].

En 1913, UL cambia el código americano de construcción. Los ingenieros de protección contra incendio elaboraron un panel con *stud* de madera y agregaron yeso para realizar pruebas a una pared. Desde entonces para complementar el sistema se incluyeron el muro de block y miles de otros paneles han sido probados en un enorme horno vertical. Tres años después UL elabora un reporte sobre el efecto del fuego en las columnas de los edificios emitido en conjunto con el *National Board of Fire Underwriters*, el *U.S Bureau of Standars* y la *Associated Factory Mutual Insurance Companies* [8].

En 1916, la Factory Mutual inicia modestamente las primeras pruebas de fuego dentro de un cobertizo en medio de una granja de manzanas en Woburn, MA, Estados Unidos. Para 1922, las instalaciones para pruebas con fuego, se trasladaron a Everett, MA. Los ingenieros iniciaron una serie de pruebas para estudiar las explosiones de vapores flamables y polvos especialmente en lugares cerrados. Otras pruebas se corrieron para determinar la efectividad de varios agentes extintores [7].

En 1941, UL comienza su investigación con la combustibilidad de plásticos con resinas sintéticas y para 1958, UL construye el primer laboratorio de protección contra incendio en Northbrook III, incluye equipo para pruebas en materiales de cubierta, y un horno con marcos móviles lo que se convirtió en un punto de partida para numerosos avances en el desarrollo de diseños resistentes al fuego. Dos años después, UL publica el estándar de seguridad para alarmas de humo y en 1965 se certifica el primer equipo contra incendio utilizado por bomberos incluido el camión de bombeo [8].

En 1946, los laboratorios de FM, fueron los primeros en utilizar ollas de acero cuadradas para probar los extintores contra incendio. La profundidad del líquido combustible con dos pulgadas de agua, proporcionaron un desafío realista poniendo a prueba las capacidades de los extintores. Para 1947 se construye la primera instalación diseñada para realizar pruebas de fuego a gran escala en la ciudad de Norwood, MA, Estados Unidos [7].

En 1951, otro edificio en Norwood se concluyó. El Edificio No. 1, el cual incluye un nuevo espacio para un laboratorio hidráulico, así como áreas para pruebas de controles de combustión, extintores contra fuego, y equipo de alarma y detección de incendios [7].

En 1954, se inician las pruebas en cubiertas en instalaciones diseñadas especialmente para este propósito.

En 1967, inicia una nueva era los experimentos y pruebas de protección de incendio. *Factory Mutual Test Center* (hoy *FM Global Research Campus*), abre sus puertas en West Glocester, RI, USA. Siendo la única instalación de su tipo que permite a gran escala, realizar pruebas reales, incluyendo los fuegos en racks por primera vez. Estas pruebas a gran escala han permitido últimamente dirigir múltiples métodos novedosos para la evaluación de las pérdidas en propiedades, tales como los rociadores en almacenes los cuales son utilizados hasta el día de hoy [7].

Las televisiones de bulbos eran muy populares, y no fue hasta 1975, después de que el equipo de UL investigó más de 10,000 incidentes de fuego en este tipo de aparatos, UL Desarrolla el estándar federal para televisiones adoptado por la *Customer Product Safety Commission* como una regulación federal para televisiones [8].

En 1989 y 1992, se obtuvieron las aprobaciones de los primeros rociadores ESFR y ELOS (*Extra-Large Orifice Sprinkler*). De 1997 a la fecha se han desarrollado nuevos estándares y FM ha inaugurado oficinas en diversas partes del mundo [7].

En el 2001, se inicia la construcción del Campus de Investigación FM Global, el cual abrió sus puertas en el 2003. Es el centro de ciencia avanzada más sofisticado del mundo, dedicada a la evaluación de productos para la prevención de pérdidas de propiedad. El campus se compone de cinco distritos de laboratorios: Riesgos Eléctricos, Tecnología contra Incendio, Hidráulica, Riesgos Naturales y Explosión [7].

En el año 2007, UL invirtió más de \$500,000 dólares para conducir el estudio científico de las últimas medidas en equipo de seguridad, esto debido a que un estudio inicial indicó que los materiales utilizados en los hogares son altamente inflamables dejando a los ocupantes un menor tiempo de desalojo en caso de incendio. Además en 2013, UL, utiliza la modelación computacional para la predicción del crecimiento y expansión del fuego e inicia procedimientos para innovar en el campo de la seguridad contra incendio [8].

Actualmente, UL investiga y lleva a cabo experimentos con fuego vivo, recolectando datos y extrayendo información de los resultados. Los hallazgos ayudan a encontrar productos ampliamente ensayados con certificación UL, obliga a los fabricantes a diseñar productos mejores y más seguros. Cuenta con oficinas en diversos países del mundo incluido México [8].

Mientras que FM Global, también se dedica de manera constante a la investigación, mejoramiento y desarrollo de lineamientos, productos y bases

hidráulicas para la protección de propiedades contra el fuego. Probando y certificando productos clave. Su dedicación a la innovación a lo largo de los años, ha resultado en numerosos avances técnicos, incluyendo la generación de paneles para paredes que produzcan niveles bajos de humo, materiales para cuartos limpios, protección con rociadores de modo supresión y sistemas de agua nebulizada [7].

1.3 Estado del Arte

La globalización, es un fenómeno que ha tomado su fuerza y auge a partir del desarrollo de la informática, la facilidad de comunicación y la interdependencia de los países en cuanto a economía, cultura y tecnología.

Para los ingenieros dedicados a los sistemas contra incendio, la globalización significa una comunicación y colaboración con colegas de todo el mundo y su importancia radica en la facilidad de compartir experiencias, tecnologías, códigos y adaptación de estándares internacionales [11].

Por este motivo, a través de la historia, los profesionales en el área de prevención y protección contra incendio, se han dado a la tarea de formar sociedades, confederaciones, comités y asociaciones regionales e internacionales que tienen un objetivo en común: promover, difundir e informar avances, tecnología, códigos y normas a colegas en otras partes del mundo.

1.3.1 Asociaciones Internacionales.

SFPE

La Sociedad de Ingenieros en Protección Contra Incendio, SFPE (*Society of Fire protection Engineers*) fue establecida en 1950, sin embargo fue hasta 1971

que se incorporó como una organización independiente. Esta es una sociedad profesional que representa a los ingenieros que se desenvuelven en el campo de la protección contra incendio. Actualmente, la SFPE cuenta con más de 4500 miembros de manera global y más de 60 capítulos regionales. El propósito primordial de la SFPE es avanzar en la práctica, investigación y ciencia de la protección contra incendio y sus campos [12].

De esta manera, esta sociedad global no solo incluye la difusión de información técnica a la comunidad de la protección contra incendio, sino que proporciona una serie de seminarios educativos, cursos, simposios y conferencias, libros y publicaciones, todos ellos dedicados y diseñados al avance del estado del arte en la ingeniería de la protección contra incendio, lo cual representa un punto de partida importante para los ingenieros dedicados a la protección contra incendio en todo el mundo.

CFPA-I

La Confederación Internacional de Asociaciones de Protección Contra incendio, CFPA-I (*The Confederation of Fire Protection Associations-International*), es un organismo que incluye a las principales organizaciones alrededor del mundo, las cuales han unido fuerzas para dirigir colectivamente sus recursos con la finalidad de reducir el problema global del fuego e incrementar la seguridad de los individuos. Esta confederación se fundó en 1965, cuando nueve asociaciones contra incendio se reunieron en Londres, resultando en la formación de la Conferencia de Asociaciones Contra Incendio, renombrada como hoy se le conoce (CFPA-I) [13].

La CFPA-I, comparte con el mundo la experiencia, investigación, el conocimiento técnico y las estadísticas de fuego, maximizando la eficiencia en la prevención y protección contra incendio y fomenta la mejora de los estándares y códigos internacionales contra incendio. La CFPA-I es un conjunto de organizaciones autorizadas, con conocimientos que han hecho contribuciones

notables en el campo. Esta confederación, cuenta con 26 países miembros, en su mayoría europeos y asiáticos. Tres países africanos. Australia. Y del continente americano, solo Estados Unidos participa como miembro de la CFPA-I [13].

CTIF: Comité Technique International de Prévention et d'Extinction du Feu

La Asociación Internacional de Incendios y Salvamento CTIF, es una red de información y competencias que representa a cinco millones de bomberos que protegen a un billón de personas diariamente. Esta asociación fue fundada en París en el año 1900, alentando y promoviendo la cooperación entre bomberos y otros expertos en fuego y rescate a través del mundo. Actualmente, la CTIF cuenta con 36 países como miembros ordinarios y 50 países como miembros asociados, entre estos se encuentran asociaciones públicas y privadas como fabricantes de equipo contra incendio, asociaciones contra incendio y rescate y centros de entrenamiento [14].

La CTIF ha desarrollado estadísticas mundiales relacionadas con el fuego, las cuales son publicadas de manera anual, en base a los reportes proporcionados por 80 países.

NFPA – *National Fire Protection Association.*

La normativa internacional, se basa en los estándares de la *National Fire Protection Association* (NFPA), que se encarga de desarrollar, publicar y difundir más de 300 códigos y estándares con la intención de minimizar la posibilidad y efectos de fuego y otros riesgos [15].

Esta asociación, cuenta con una división internacional de operaciones la cual trabaja en desarrollar e incrementar la conciencia global acerca de NFPA promocionando el uso de la información técnica y educativa. NFPA internacional cubre las regiones Asia/Pacífico, Europa y América Latina, trabajando para el uso

y adopción de los códigos y estándares NFPA a lo largo de sus territorios, trabajando íntimamente con el gobierno y la industria [15].

Esta asociación se ha dado a la tarea de traducir los códigos NFPA a distintos idiomas. Su presencia en Latinoamérica se ha establecido a través de Capítulos regionales para países como Argentina, Colombia, República Dominicana, México, Puerto Rico y Venezuela, ofreciendo entrenamiento, seminarios en español y la publicación del NFPA *Journal* Latinoamericano [15].

Por otra parte, como centro de investigación afiliado a NFPA, se encuentra *The Fire Protection Research Foundation*, el cual es una empresa independiente sin fines de lucro, la cual se encarga de manejar y comunicar las investigaciones que respaldan a la Asociación. Este centro fue creado en 1982, debido a la gran necesidad de una mejor y mayor difusión de los códigos y estándares. Se encarga de la investigación en las áreas domésticas e industriales con múltiples ramos tales como riesgos de materiales, supresión de incendios, detección, señalamiento, seguridad eléctrica, entre otros [16].

NFSA – National Fire Sprinkler Association

Esta asociación, fue formada por tres contratistas especializados en noviembre 22 de 1905, en St. Louis MO, Estados Unidos, estableciendo la *National Automatic Sprinkler Contractors Association*, la cual cambiaría su nombre a NFSA en 1914. De esta manera Jhon Moore, W.G. Allen y George M, Myers se convirtieron en los fundadores de la NFSA. Al momento de la fundación de esta asociación, la industria contra incendio se encontraba en su punto de inicio, apenas con 29 años desde la primera patente del invento de Henry Parmelee, considerado el inventor del primer rociador práctico contra incendio y nueve años desde la fundación de la NFPA [17].

El objetivo trazado de la NFSA, es promover y mejorar los métodos de protección contra incendio, discutir y adoptar los reglamentos y estándares promulgados por la NFPA, así como todos aquellos requerimientos legales y

políticas que lleven a un funcionamiento más efectivo de los sistemas de aspersores y llevar a estos sistemas al nivel más alto de protección [17].

IFSA – *International Fire Sprinkler Association*

La International Fire Sprinkler Association, (IFSA), es una organización creada por la NFSA y reúne a las distintas organizaciones de rociadores en el mundo y apoya el desarrollo y crecimiento de la industria mediante apoyos financieros a proyectos específicos que impulsen la cultura de prevención y reducción de pérdidas humanas a causas del fuego. Creada en 1999, IFSA es una asociación sin fines de lucro, cuya tarea es alentar el uso de sistemas de rociadores contra incendio alrededor del mundo. Con la NFSA proveyendo los servicios administrativos, la IFSA sirve como mecanismo para ayudar a establecer y fundar el crecimiento temprano de otras organizaciones nacionales y regionales para promover el concepto de rociadores contra incendio [18].

European Fire Sprinkler Network

En Europa, la *European Fire Sprinkler Network*, es foro creado en 2002, sin fines de lucro que involucra a comunidades políticas, de protección contra incendio y otras con la finalidad de fomentar un mayor uso de rociadores automáticos para salvar vidas y proteger la propiedad y el medio ambiente. Dentro de los miembros asociados, se encuentran: aseguradoras, autoridades, empresas de consultoría y laboratorios, asociaciones de rociadores, instaladores y fabricantes, entre otros [19].

Fm Global

A nivel internacional se tienen organismos privados dedicados a evaluar códigos, normas, proporcionar bases técnicas, desarrollar tecnologías contra incendio y evaluar riesgos. Entre estos organismos se encuentra la aseguradora

FM Global, (*Factory Mutual Global*) aseguradora internacional dedicada a proteger propiedades comerciales e industriales, impulsada por la ingeniería y gestión de riesgos, dedicada a la investigación de fenómenos relacionados con el fuego. Su importancia radica en la importante labor realizada en el campo de la investigación dentro de sus propios laboratorios, así como el desarrollo de parámetros técnicos.

- **Índices de Resiliencia y Capacidad de Acción ante Riesgos de Incendio**

FM Global, ha desarrollado la primera herramienta de datos que permite la evaluación de 130 países en cuanto a la flexibilidad empresarial de cada región. Se evalúan nueve puntos de riesgo, agrupado en tres categorías: económica, calidad de riesgo y factores en la cadena de suministro. Estos proporcionan el índice compuesto. La evaluación está limitada en una escala del 0 al 100 donde el 0 representa la resiliencia más baja y 100 la más alta [20].

Para el segundo semestre del 2014, FM Global coloca a Noruega como el país con mayor índice de resiliencia, seguido por Suiza y Canadá [21]. Mientras que la Republica Dominicana ocupa el último puesto, después de Venezuela. En 2015, Noruega y Suiza mantienen su posición seguidos de los Países Bajos, mientras que los últimos lugares en índice de resiliencia, son ocupados por Republica de Kirguistán y Venezuela [22]. Para el 2016, los países con mayor índice de resiliencia son Suiza, Noruega e Irlanda, y los lugares 129 y 130 del *ranking*, son ocupados por Republica Dominicana y Venezuela, respectivamente [23].

Dentro de la categoría de calidad de riesgo, FM Global, se encuentra el factor denominado “Calidad de la gestión del riesgo de incendio”, que refleja el compromiso con la mejora del riesgo de incendios, dada la exposición al riesgo de incendio inherente [22].

En la evaluación de 2014, el país con mayor respuesta ante riesgos es Irlanda, seguido de Estados Unidos y Canadá. En los últimos lugares se

encuentran la Republica Dominicana (129) y Taiwán (130) [21]. Durante 2015 los primeros tres lugares están ocupados por Irlanda, Canadá y Estados Unidos, mientras los últimos lugares fueron Japón y Republica Dominicana respectivamente [22]. En 2016, se mantuvieron estas posiciones [23].

Según los reportes del índice de resiliencia de los últimos tres años, dentro del Ranking General, México ha ocupado los siguientes lugares: En 2014 se posicionó en el lugar número 59 de 130, en 2015 descendió al puesto número 66, para colocarse finalmente en el 2016, en el lugar número 65.

En cuanto al factor de “Calidad de la gestión del riesgo de incendio”, se ha colocado en los siguientes puestos: 2014 [21], lugar número 51; 2015, descendió al puesto número 61 [22], y actualmente se encuentra en el lugar número 69 [23].

De esta manera, los reportes emitidos por la FM Global, brindan al sector industrial e interesados, el panorama mundial basados en las situaciones políticas, sociales, tecnológicas y económicas sustentados en su propia base de datos.

En cuanto a la posición de México dentro del ranking internacional, en el rubro de la calidad de gestión de riesgo, es importante observar que desde el 2014, México ha disminuido su respuesta ante la exposición a los siniestros presentados sean naturales o debidos al fuego. Debemos analizar qué acciones están afectando esa calidad de respuesta y que podemos hacer para mejorarla.

Actualmente, la colaboración estrecha entre países, firmas privadas y asociaciones promueven la investigación conjunta y el intercambio de información dentro del campo del combate contra incendio permitiendo la innovación y mejora tecnológica resultando en la actualización e implementación de normativas nacionales e internacionales.

1.3.2 Los Sistemas Contra Incendio y el Panorama Internacional.

1.3.2.1 Estados Unidos

Estados Unidos, es un país de alto desarrollo tecnológico e industrial. Su experiencia, sus estadísticas y el desarrollo de sus centros de investigación y asociaciones, continúan colocándolo a la vanguardia de los sistemas contra incendio.

Con base en estos puntos, las últimas décadas este país, se ha dedicado a mejorar sus estándares y capacitar a sus ingenieros, técnicos, instaladores y profesionales de los sistemas contra incendio. Respaldando sus aportaciones en bases científicas y comprobadas, haciéndolas de conocimiento internacional.

Por otra parte, la cooperación entre las compañías dedicadas a los sistemas contra incendio, aseguradores y profesionales ha dado una fuerte cimentación a la ingeniería contra incendio. Y ha buscado promover y fomentar por el mundo la conciencia de la ingeniería contra incendio y organizar comunidades y asociaciones en países donde la tecnología contra incendio ha permanecido rezagada.

Estados Unidos, cuenta con los centros de investigación contra incendio más importantes en el mundo y sus normativas son tomadas como base para implementación de reglamentos en otros países.

1.3.2.2 Reino Unido

Al paso de los años, el Reino Unido, ha fortalecido sus acciones para la prevención de desastres debidos al fuego, esto a partir de la experiencia, las estadísticas y la respuesta observada en edificaciones con aspersores.

A continuación el resumen algunos casos proporcionados por la EFSN durante 2012 y 2013:

Kilsby, en Northamptonshire, es un eje de transporte importante para los distribuidores del Reino Unido. Un poco más tarde de las 05:00 del 31 de octubre de 2012, el sistema de rociadores en un almacén de distribución de productos alimenticios de *Tesco* se puso en funcionamiento al producirse un incendio en la sección de aerosoles. Esta sección, situada en un edificio de 158.000 m² y 15 m de altura, contiene productos muy volátiles. Dos cabezas de rociadores se activaron y controlaron el fuego en cuestión de segundos, dando lugar a unos daños mínimos. Ninguno de los 300 ocupantes de edificio resultó herido en el incidente, y las existencias del centro de distribución, valoradas en varios millones de libras, no resultaron afectadas por el fuego. No hizo falta más que una intervención mínima del Servicio de Bomberos de Northamptonshire en este incidente [24].

A las 20:38 del lunes, 26 de noviembre de 2012, el Servicio de Bomberos de West Yorkshire recibió una llamada por un incendio en un punto de venta de 400m² y dos plantas en un importante centro comercial. Al llegar, los bomberos se encontraron con que el sistema de rociadores alimentado desde la red pública ya se había activado y una cabeza de rociador había controlado el fuego, evitando que se propagara y permitiendo que los 4 empleados escaparan del edificio. Se calcula que el fuego provocó daños en el 5% del edificio en cuestión [24].

A las 20:38 del lunes, 26 de noviembre de 2012, el Servicio de Bomberos de West Yorkshire recibió una llamada por un incendio en un punto de venta de 400m² y dos plantas en un importante centro comercial. Al llegar, los bomberos se encontraron con que el sistema de rociadores alimentado desde la red pública ya se había activado y una cabeza de rociador había controlado el fuego, evitando que se propagara y permitiendo que los 4 empleados escaparan del edificio. Se calcula que el fuego provocó daños en el 5% del edificio en cuestión [24].

Stew Adamson del Servicio de Bomberos de Hampshire informa de que el equipo de bomberos recibió una llamada para acudir a un almacén en el polígono industrial Walworth, en Andover, a las 08:21. Al llegar, se encontraron con que el sistema de rociadores se había activado y había controlado el fuego. Solo un 1% del edificio sufrió daños. Stew Adamson declaró que *“el impacto de un incendio en las empresas puede ser catastrófico y el 80% quiebra antes de transcurrir un año después de un incendio. Esta empresa sigue en funcionamiento y gracias al sistema de rociadores el incendio no afectó a las empresas vecinas. Todas las empresas deberían implementar planes para evitar los incendios, responder ante ellos y recuperarse después”*. En este incidente, se activaron dos cabezas de rociadores. El almacén es de construcción de acero de 120 metros por 85 metros. Una investigación demostró que la causa del incendio fue un fallo eléctrico [24].

El 28 de abril de 2016, un sistema de niebla extinguió el fuego en un restaurante en Oslo. El fuego inicio en un edificio adyacente y cuando alcanzo el restaurante, se activó un solo rociador, previniendo serios daños [25].

Por otra parte, la *Bussines Sprinkler Alliance* (BSA), con sede en Londres, ha publicado un mapa interactivo de grandes incendios y la acción de rociadores. Se produjo basado en datos desde Enero de 2012, este mapa muestra cuantos fuegos de alta expansión hay y que tan frecuentemente los rociadores han sido necesarios para prevenirlos. Solo se muestran fuegos comerciales e industriales. Esta herramienta, aun esta en desarrollo y actualmente solo muestra los incendios en Gran Bretaña desde enero de 2012 a 2016 [26].

La metodología utilizada para elaborar este mapa interactivo, ha utilizado los reportes de la web para identificar los fuegos más significativos y trabajó con el departamento de Bomberos de cada localidad para recolectar los datos de los sistemas de rociadores. Los datos de entrada son País, Año y uso de la edificación (educación, fábrica, hospital, otro, minoristas, turismo y ocio, trasportación, almacén, desperdicio y reciclaje) [27].

La elaboración de este tipo de herramienta, constituye un gran esfuerzo y la disponibilidad a nivel local y nacional de estadísticas y reportes que muestren algo más que las víctimas y pérdidas materiales a causa de un incendio. Requiere un análisis a fondo de las causas del fuego, así como las fallas y aciertos de los sistemas para controlar y prevenir incendios.

El Reino Unido, cuenta con una base estadística sustentada que le ha permitido analizar desastres, desarrollar herramientas y dedicar tiempo y recursos a la mejora continua de las instalaciones en edificios comerciales e industriales y su reglamentación.

1.3.2.3 Dubai

La globalización ha traído consigo nuevas experiencias y colaboración entre colegas de todo el mundo.

Generalmente, al realizar específicamente un proyecto de protección contra incendio en un país, se siguen las normas o reglamentos del lugar donde se realizará la construcción, tomando en cuenta también algún estándar internacional o bases técnicas que solicite la aseguradora.

Este tipo de colaboración y adaptación de los ingenieros a normas internacionales se presenta de manera clara en ciudades modernas y de alto desarrollo tecnológico, y un ejemplo relevante es lo que sucede en ciudades del Golfo Pérsico, como la ciudad de Dubai, la ciudad de mayor desarrollo dentro de la Unión de Emiratos Árabes, donde se requiere una colaboración estrecha entre arquitectura e ingeniería, además del conocimiento de diversos códigos internacionales [28].

En relación a la tecnología de sistemas contra incendio, sistemas de rociadores, control y detección de humo, los Emiratos Árabes es un tema particular ya que son aceptados los códigos internacionales más reconocidos, es decir, el diseño de sistemas contra incendio en Dubai, no se basa en un estándar sino que es una mezcla de los códigos contra incendio de Estados Unidos, Inglaterra, Alemania y Australia. Es común diseñar un sistema de rociadores contra incendio basados en NFPA 13, y diseñar un sistema de alarmas con el Estándar Británico BS5839 en el mismo edificio [28].

En vísperas de recibir el año 2016, un fuego en The Address Hotel, en Dubais, causo un extenso daño, con un estimado extra oficial de pérdidas por reparaciones e interrupción del negocio, las cuales exceden los \$100 millones de dólares. Millones de personas alrededor del mundo pudieron ver el enorme fuego que viajo desde fuera del edificio hacia adentro, y muchos se preguntaron como pudo esto suceder. A lo que expertos pudieron determinar, el edificio estaba equipado con rociadores en el interior, pero no en los balcones exteriores. Los rociadores trabajaron, ayudando a prevenir que el fuego se expandiera dentro del edificio y no se perdió ninguna vida a pesar del enorme fuego. Todos los reportes indicaron que el fuego inicio en los balcones exteriores y se esparció hacia el revestimiento combustible del edificio. Desde el 2012, el revestimiento de nucleo combustible, compuesto por material aislante económico y ligero, como lo es el polietileno o el poliuretano, entre hojas de aluminio es ampliamente utilizado en Dubai, es posible que el fuego llegue al núcleo combustible a través de hoyos en la capa de aluminio [29].

Algunos han sugerido que los rociadores deben instalarse fuera de los edificios para proteger el revestimiento, lo cual es posible, aunque caro, reequipar balcones externos con rociadores para controlar o suprimir cualquier incendio que se inicia en un balcón. Por el contrario, la industria de rociadores aún no cuenta con una solución para la protección externa de revestimiento [29].

Sin embargo, un mejor enfoque es, utilizar un núcleo de baja combustibilidad o no combustible. Existen protocolos para la evaluación y uso de este tipo de materiales como NFPA 285 “*Standard Fire Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components*” o el Documento B Aprobado en el Reino Unido, donde limita la combustibilidad en productos aislantes en construcciones como paredes externas cuando la construcción es mayor a dieciocho metros [29].

Dubai, siendo una de las ciudades tecnológica y económicamente más desarrolladas, con edificaciones complejas desde el punto de vista arquitectónico y de ingeniería, se enfrenta a diseños (específicamente contra incendio), donde intervienen distintos códigos nacionales e internacionales, lo cual dificulta la tarea del diseñador en cuanto a la ubicación, dimensionamiento, selección y uso de dispositivos y elementos contra incendio. Y es en este punto donde además de la formación, el ingeniero debe hacer uso de su criterio y experiencia.

Por otro lado, es en este tipo de ciudades con construcciones tan sofisticadas, las cuales nos dan la muestra de la interacción que debe haber entre el ingeniero, el arquitecto, el constructor y el dueño para llegar a un acuerdo entre el diseño estético, funcional y seguro, económica y ecológicamente viable. Interacción, la cual se vuelve en extremo compleja y será el punto clave para el éxito de una construcción.

1.3.2.4 Nueva Zelanda

Nueva Zelanda, es un país que ha adaptado normas NFPA a su región y desarrollo. Este país cuenta con un sistema de regulación para edificación basado en el desempeño desde 1991.

Actualmente, Nueva Zelanda tiene tres estándares para sistemas de rociadores contra incendio, los cuales están pobremente basados en los estándares NFPA, y han sido adaptados para el ambiente de este país, como se observa en la tabla 1.2 [30].

Tabla 1.2 Códigos Neozelandeses y su adaptación a NFPA 13

Código NZ	NFPA	Cubre:
NZS 4517:2010	NFPA 13D	Instalación de rociadores contra incendio en ocupación doméstica.
NZS 4515:2009	NFPA 13R	Rociadores contra incendio en ocupaciones destinadas a dormir que sobrepasen los 2000 m ² , lo cual incluye la mayoría de los edificios residenciales
NZS 4541:2013	NFPA 13	Cubre el resto de las instalaciones incluidas las comerciales e industriales.

El estándar para rociadores en instalaciones comerciales e industriales (NZS 4541:2013), no solo se basa en el estándar americano NFPA 13, sino que toma referencias de otros documentos como: Estándar de Nueva Zelanda; Unión de estándares Australianos/Neozelandés; Estándares internacionales ISO / IEC (*International Electrothechnical Comission*); Estándares americanos: NFPA, ASTM; Estándares australianos, británicos y alemanes. Y otras publicaciones tales como las Fichas técnicas de FM Global, UL *Laboratories* y la Legislación propia de este país [30].

Según Frank y M. Spearpoint (2014), el último estudio substancial realizado en Nueva Zelanda fue en 1988, donde se analizaron datos de incendio con edificios protegidos por rociadores en Australia y Nueva Zelanda de 1886 a 1986.

La NZFS (New Zeland Fire Service), ha utilizado desde el año 2000 un sistema web de reporte de incidentes, el cual está integrado al sistema de administración de estaciones. El sistema de reportes permite llenar un formato con los datos del incidente, el cual es utilizado en forma estandarizada en todo el país. El sistema contiene todos los incidentes a los que la NZFS ha respondido. El problema principal que se presenta es que no hay garantía que la información reportada este completa y en muchas ocasiones el personal se rehúsa a integrar y llenar los reportes [30].

Por otra parte, Nueva Zelanda, cuenta con un equipo de 20 oficiales de seguridad contra incendio los cuales están disponibles para ayudar en las investigaciones, así como Especialistas y grupos de Ingenieros dedicados a Sistemas de Protección Contra incendio. La NCI (National Commander's Instruction), No. 56. Requiere una investigación completa por especialistas en cada incidente donde se detecten incendios por fallas en donde las características incorporadas de seguridad contra incendios han fracasado o no se realiza con los estándares conocidos o esperados [30].

De acuerdo al estudio de Frank y M. Spearpoint (2014), en Nueva Zelanda, los incendios más comunes se detectan en ocupaciones industriales y manufactureras, seguidas por hospitales o centros de cuidado y talleres.

Para Nueva Zelanda y conforme a lo tomado de las bases de datos de este país, se calcula un eficiencia del 66% en incendios con sistema automático de rociadores, discrepando con lo reportado por la NFPA donde se determina una eficiencia de este tipo de 91%. Sin embargo, la eficiencia baja de los sistemas automáticos de rociadores puede ser afectada por dos importantes factores: el cambio de ocupación sin modificar el diseño del sistema contra incendio y el cambio de configuración de sistema rociadores instalado. De manera general, entre 2001 y 2010, donde la NZFS ha respondido al 95% de los incidentes, la

eficiencia total del sistema de rociadores en Nueva Zelanda, se calcula en un 86%, con una desviación estándar del 4.6% [30].

Frank y Spearpoint (2014), señalan la importancia de la recolección de datos en los reportes proporcionados al sistema web para incidentes, tanto los recolectados en campo, como los proporcionados en los planos y cálculos de proyectos, de tal manera que facilite las investigaciones y la detección de fallas en los sistemas automáticos de rociadores contra incendios o en su defecto en los mismos estándares nacionales.

Por otra parte, Nueva Zelanda, cuenta con una Guía para Diseño de Ingeniería Contra Incendio, cuyo propósito principal es ofrecer lineamientos para quienes desean hacerse cargo o revisar diseños específicos contra incendio en base a los códigos de Nueva Zelanda y reglamentos adicionales del propietario de la edificación. La guía para diseño, ha tenido gran aceptación entre la comunidad de sistemas contra incendio [31]

Esta Guía, es una introducción a la ingeniería contra incendio que proporciona estrategias básicas e información de diseño para trabajos sencillos. Es un punto de inicio para quienes inician en el diseño de ingeniería contra incendio, a través de una combinación de la promoción de la educación, la experiencia y las investigaciones en el campo de los sistemas contra incendio, basados en fundamentos científicos e ingenieriles [31].

1.3.2.5 Indonesia

Indonesia, por su parte, ha puesto gran hincapié en la recolección de datos estadísticos, así como el análisis actual de su país, la importancia a la necesidad del seguimiento de las normas y reglamentos para la protección contra incendios y el actuar de la población en caso de fuego para evaluar los tiempos de respuesta ante estos incidentes.

Los datos estadísticos utilizados en Indonesia, permite no solo determinar y explorar el potencial de fuego identificando sus causas y determinar el nivel de riesgo del edificio, sino que ha permitido al ingeniero de diseño de sistemas contra incendio tomar decisiones apropiadas en proyecto y construcción, mejorando así la prevención y protección del edificio y personal. También ha permitido evaluar la eficacia de los códigos contra incendio y las políticas gubernamentales, así como calcular los futuros cambios en el ámbito de protección contra incendio [32].

Sufianto y Green, en 2010, evaluaron la situación del área urbana en protección contra incendio considerando dos grandes zonas de Indonesia: Jakarta y Surabaya, con la finalidad de mejorar la seguridad de la población, así como el diseño y construcción de edificaciones y utilizar la tecnología adecuada de protección contra incendio para reducir riesgos.

Según los autores, la regulación en Indonesia requiere la instalación de protección contra incendio únicamente en edificios públicos e industriales y por ley cada edificio debe ser certificado por ocupación por las autoridades locales. Sin embargo no todos los edificios están certificados y muchas veces aun estando certificados muchos no cumplen con los requerimientos técnicos.

Independientemente de las modificaciones realizadas a las Leyes Nacionales de Construcción y sus regulaciones, el 90% de los edificios públicos e industriales en la ciudad de Jakarta en 2010, cuentan con un estándar contra incendio inadecuado, y la falta de control y monitoreo de los sistemas de protección contra incendio se debe en gran parte al limitado número de inspectores disponibles para la cantidad de edificaciones [32].

Se encontró que los incendios más devastadores ocurren debido a errores humanos, fallas mecánicas o eléctricas y condiciones climatológicas extremas. Y por otro lado, la causa principal de incendio en este país son las actividades relacionadas con la cocina [32]

En cuanto a los tiempos de respuesta, la NFPA estandariza este dato a 6 minutos para un 80% de eficiencia en atención al incendio. Mientras que la *US Fire Administration* indica que el tiempo de respuesta debe ser de 5 minutos para un 50% de atención independientemente de la región, hora del día o estación del año [32].

Tabla 1.3. Tiempo de Respuesta para Ciertos Países [31]:

País/Ciudad	Asistencia al Centro	Asistencia a áreas
	Urbano	aisladas
Hong Kong	6 min.	9 min 23 s
US	5 min (50% atención)	11 min (90% atención)
UK (Escocia)	5 min área de alto riesgo	8-10 min área moderada. 20 min área de bajo riesgo
Japón	4-6 min	
Australia	6 min 49 s (50% atención)	10 min 41 s (90% atención)
Indonesia Surabaya	14 min	
Indonesia Jakarta	7 min	

Sin embargo Sufianto y Green señalan que el mayor tiempo de demora para reportar un incendio en Surabaya fue de 22 minutos. Es en este punto donde el comportamiento humano toma importancia. Y este, como otros casos son ejemplos de lo que sucede no solo en Indonesia sino en otros países, incluso lo más desarrollados tal como lo indica el estudio realizado por Holborn en el Reino Unido.

Lo sucedido según la investigación realizada en Indonesia, fue que primeramente, los ocupantes decidieron apagar el incendio, al no lograrlo, decidieron evacuar sus pertenencias fuera de la casa antes de llamar a bomberos, al decidir actuar y llamar al servicio de emergencia no tenían disponible el número directo y finalmente se realizó la llamada [32].

La importancia de una protección efectiva contra incendio radica en el comportamiento humano, el servicio de bomberos, los códigos y estándares y el desarrollo urbano. Para los autores, es indispensable el crear conciencia de la prevención de incendios, tanto de las autoridades como de la población.

Indonesia nos muestra la importancia que toman los datos estadísticos para comprender y mejorar los sistemas contra incendio, así como para crear conciencia de la importancia de los mismos. Permite observar la respuesta brindada por el Departamento de Bomberos ante estas situaciones, y así detectar áreas de oportunidad para facilitar y agilizar esta labor ante un incendio.

Por otra parte, es importante mencionar que no es suficiente cambiar las normas contra incendio, también es indispensable que a la par de esta acción, se capacite al personal responsable del análisis y evaluación de estos eventos, a los supervisores, diseñadores y propietarios de las edificaciones.

Alrededor del mundo, debido a la globalización, el fácil acceso a la información, investigaciones, documentos y conferencias, diversos países han desarrollado puntos clave para la modificación de sus normativas, guías para la capacitación y mejora de sus ingenieros y profesionales de los sistemas contra incendio, así como el estudio de casos nacionales y estadísticas para buscar alternativas y descubrir nuevas oportunidades para la protección de la población y los bienes inmuebles, lo cual, finalmente repercute severamente en la economía de un país.

1.3.3 Latinoamérica: Avances en Normativa y Sistemas Contra Incendio.

Según la página El Asegurador, en Latinoamérica los siniestros por abrasamiento en casa habitación y edificios se han incrementado exponencialmente. Tan sólo en México en un año se registraron 15 mil desastres de esta naturaleza [33].

La región latinoamericana es consciente de la importancia de los sistemas contra incendio y de la necesidad de normas y estándares que respalden los diseños, proyectos, instalación y revisión de los sistemas contra incendio, adecuando las normativas a cada región. El sector empresarial, industrial, aseguradoras y asociaciones han promovido la cultura de la seguridad contra incendio.

La NFPA, se ha dado a la tarea de traducir sus códigos a distintos idiomas. Su presencia en Latinoamérica se ha establecido a través de Capítulos regionales para países como Argentina, Colombia, República Dominicana, México, Puerto Rico y Venezuela, ofreciendo entrenamiento, seminarios en español y la publicación del NFPA *Journal* Latinoamericano [15].

La economía global y la proximidad de los países generaron la oportunidad de extender los esfuerzos de la NFPA a la región iberoamericana a través del esfuerzo de innumerables miembros voluntarios. A fin de facilitar esta acción, la NFPA estableció como estrategia la creación de un sistema de Capítulos nacionales que se constituyan en el ámbito propicio para reunir a miembros con intereses similares y llevar adelante los objetivos comunes [34].

Por otra parte, los países de Latinoamérica han comenzado a evaluar de manera particular su situación en normativa e ingeniería contra incendio, y diversas naciones se encuentran en la tarea de concientizar a la población, al gobierno y a los usuarios de establecer nuevos reglamentos y capacitar a los ingenieros, contratistas y profesionales que combaten el fuego diariamente.

A continuación, una breve reseña de algunos países que han destacado por su esfuerzo en la cultura contra incendio.

1.3.3.1 Colombia

En Septiembre de 2003, se constituyó en Colombia su propio Capítulo NFPA.

La Organización Iberoamericana de Protección contra Incendios (OPCI) es la entidad administradora del Capítulo NFPA en Colombia. Este país actualmente cuenta con aproximadamente 90 afiliados, pertenecientes a diferentes ramos de la Industria, entre los cuales están: Industria Petrolera, Compañías de seguros, Firmas de ingeniería, firmas productoras y distribuidores de equipos de incendio, firmas asesoras de servicios, industria en General entre otros [35].

En marzo de 2014, Colombia dio un paso importante en estandarización y capacitación de profesionales en el área contra incendio, pues se formó la Asociación Nacional de Rociadores Automáticos Contra incendio (ANRACI), con apoyo de la Asociación Mexicana de Rociadores Contra incendio (AMRACI) y la *National Fire Sprinkler Association* (NFSA). Con la creación de la ANRACI Colombia, se busca promover la profesionalización y fomentar la red de los especialistas que en el futuro permita compartir experiencias y posibilidades de *networking*. En esta reunión participaron especialistas no solo colombianos, sino de distintos países latinoamericanos, de tal manera que se fomentó el interés para formar ANRACI Panamá, ANRACI Republica Dominicana y ANRACI Costa Rica [36].

Actualmente la ANRACI cuenta con un plan estratégico para dar impulso a la asociación, así como con una agenda académica anual donde se plasman las conferencias y eventos más importantes tales como seminarios y talleres impartidos por profesionales del sector contra incendio internacional y la participación de la NFSA, NFPA E IFSA [37].

1.3.3.2 Brasil

Al igual que muchos países, incluyendo México, en Brasil, los sistemas pasivos de protección contra incendio son los más populares, sin embargo la reglamentación al respecto aun es básica, confusa e ineficiente [38]. La necesidad de proteger la vida de los habitantes y los inmuebles se ha traducido en un trabajo para adaptar e introducir normativa y capacitación para la regulación de sistemas contra incendio.

La Asociación Brasileña de Rociadores (ABSpk) fue fundada a principios de 2011 con el fin de fomentar el uso de aspersores en el mercado nacional. Su función es promover la discusión y la introducción de acciones de cualquier sistema de rociadores de manera técnica y profesional. Su objetivo primordial es profesionalizar el campo de rociadores contra incendio dando subsidios técnicos y de mercado a los fabricantes, diseñadores, instaladores, distribuidores y todas las demás empresas que participan en el proceso de implementación del sistema, con el fin de satisfacer las demandas del país [39].

Brasil, es el primer país en Latinoamérica en realizar una demostración "Side by Side". El proyecto SbS, es la simulación simultanea de fuego en dos ambientes idénticos y dispuestos uno al lado del otro, uno protegido por rociadores y el otro sin protección, con el fin de comparar los efectos del fuego en cada entorno [39].

En el video de esta demostración, realizada el 13 de abril de 2016, se observa como el cuarto no protegido, es consumido completamente por el fuego, para sofocarlo fue necesaria una manguera con agua a presión controlada por tres hombres del Departamento de Bomberos. El fuego en el segundo ambiente, es controlado por un aspersor que se activa aproximadamente a los cuarenta y cinco segundos de iniciado el fuego. Finalmente éste, es sofocado por la aplicación de un agente extintor operado por un hombre [39].

1.3.3.3 Argentina

En marzo de 2004, el Capítulo Argentino se constituyó en el tercer país con el título de “regional oficial de la NFPA” cuando su junta de directores le otorgó tal calidad. Una vez que el título de regional es aprobado, el capítulo está en posición de comenzar a sesionar regularmente, lo que para la mayoría de los capítulos significa hacerlo en forma mensual [40].

Argentina actualmente cuenta con aproximadamente 80 afiliados, pertenecientes a distintos ramos de la Industria. Entre los objetivos principales de este Capítulo, se encuentran: promover la ciencia, el desarrollo y conocimientos de los miembros del Capítulo NFPA Argentina, obtener y divulgar información de los sistemas contra incendio y promover principios de ética y exigir el cumplimiento de los estatutos, entre otros [41].

1.3.3.4 Paraguay

Durante la visita de Antonio Macías, Director para Latinoamérica de NFPA, durante los días 1 y 2 de junio de 2013 a la ciudad de Asunción, Paraguay se concretó la adopción del NFPA 1, Código de Incendios y del NFPA 101, Código de Seguridad Humana [42].

En un año o menos, los edificios de altura y lugares de reunión pública (centros comerciales y sitios de eventos) en Asunción tendrán que readecuar sus instalaciones a la nueva Ordenanza de Prevención contra Incendios [42].

La Ordenanza crea un comité interinstitucional integrado por representantes de gremios de la de la construcción, técnicos y profesionales de la Municipalidad de Asunción, miembros del Cuerpo de Bomberos Voluntarios, y la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y, coordinado por el Jefe del Departamento de Prevención de Incendios. Este comité establecerá los lineamientos para la

aplicación de los códigos NFPA 1 y 101 en forma obligatoria y busca que exista armonía con el Reglamento General de la Construcción [42].

Tras veintisiete años, en 2015, la Municipalidad de Asunción presentó una nueva ordenanza contra incendios, que apunta a precautelar la vida de las personas. La antigua normativa data de 1988.

La ordenanza, lleva por nombre “El Reglamento General de Prevención contra Incendios para la Seguridad Humana”, basada en los lineamientos de la NFPA. El reglamento incorpora lo último en tecnología en materia de prevención de incendios y tiene como primer objetivo precautelar la vida de las personas, además de la protección de los bienes y evitar el menor daño posible para el edificio, de tal forma que sea posible que continúen sus operaciones en un corto plazo. Por otra parte, se deberá tener en cuenta los materiales a ser utilizados para la construcción, en qué sectores de la estructuras se pueden emplear y la tipología constructiva [43].

Los Capítulos Latinoamericanos de NFPA tienen la finalidad de promover la ciencia y tecnología detrás de los sistemas contra incendio, formar una red de apoyo técnico y divulgar avances en esta área con profesionales locales y extranjeros, teniendo en cuenta la misión última de la NFPA: salvar vidas y bienes de los efectos del fuego y otros peligros [15] [34].

Las asociaciones formadas o en proceso de formación han surgido debido a la preocupación de los siniestros que se han desarrollado en los diferentes países y en base a la detección de un área de oportunidad para profesionales en el área contra incendio y el desarrollo oportuno de una reglamentación adecuada para cada nación.

Latinoamérica aun cuenta con países en vías de desarrollo que se perfilan para ser una buena alternativa para inversionistas extranjeros. El desarrollo industrial trae consigo nuevos enfoques tecnológicos y nuevos retos para los países latinoamericanos, que promueven la actualización de la ingeniería y la reestructuración de normativas.

1.3.4 México: Situación Actual.

En México se consideran comúnmente como equipos contra incendio a los extintores portátiles, los sistemas fijos contra incendio a base de agua con mangueras (hidrantes), y a los rociadores automáticos. Erróneamente se considera que los extintores, las mangueras contra incendio y los rociadores se pueden sustituir unos con otros, cuando son tecnologías con objetivos probados distintos [44].

La problemática general en México, en términos de diseño de sistemas hidráulicos para combatir el fuego tiene muchas fuentes, primeramente en este país no existe ninguna regulación que obligue a proteger aéreas de riesgo con un sistema de rociadores [33]. Es decir, los reglamentos de bomberos de cada ciudad, los reglamentos de construcción y las normas oficiales mexicanas, hacen mención a la instalación de rociadores, sin embargo no es obligatorio y no existe un documento, bases o estándares que permitan seguir una línea para el desarrollo de un proyecto hidráulico de este tipo que nos brinde un criterio de diseño apropiado para el riesgo del lugar.

Generalmente, los sistemas automáticos contra incendio son diseñados e instalados en industrias privadas aseguradas por compañías internacionales que prácticamente obligan al cliente a proteger al personal y el inmueble.

La Norma Oficial Mexicana, NOM-002-STPS-2010, “Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo”, cuenta con un anexo titulado “guía de referencia”, la cual señala que “el contenido de esta guía es un complemento para la mejor comprensión de la Norma y *no es de cumplimiento obligatorio*”[45].

En esta misma norma, la guía de referencia V “Sistemas fijos Contra incendio”, en el punto V.3 Uso de los sistemas fijos contra incendio del tipo de rociadores automáticos y otros alternativos, en su inciso a), indica lo siguiente: “Se *recomienda* utilizar sistemas fijos contra incendio del tipo de rociadores

automáticos, en las áreas de los centros de trabajo clasificadas con riesgo de incendio alto” [45].

Como se observa en los párrafos anteriores, la NOM-002-STPS-2010, únicamente “recomienda” y no obliga el uso de rociadores contra incendio.

En México y en muchos países, se tiene la idea errónea que la instalación de un sistema automático de rociadores representa una inversión elevada en relación a la construcción del edificio. La norma oficial mexicana, obliga en ciertas ocasiones y dependiendo de algunos factores, instalar sistemas fijos contra incendio (hidrantes y extintores), los cuales representan entre el 3% y 6% del costo total del edificio. Un sistema hidráulico de tuberías a presión adecuado que no requiere ser operado por personal del lugar, representa del 4% al 9% del costo total de la construcción, y brinda una mejor respuesta en caso de incendio [44].

Atendiendo esta problemática, se formó en el 2012, la AMRACI (Asociación Mexicana de Rociadores Automáticos contra Incendio), asociación sin fines de lucro, apoyada por organismos internacionales como lo es NFSA, NFPA y FM Global la cual colabora actualmente con autoridades federales, estatales y municipales en la revisión y creación de una reglamentación adecuada para este país, con el objeto de impulsar, mejorar, legislar, profesionalizar y promover la cultura de prevención y protección a través del desarrollo de normas, códigos, buenas prácticas de diseño, instalación y mantenimiento con el fin de salvar vidas y proteger propiedades [46].

El 20 de Noviembre de 2013, se publicó en el Diario Oficial de la Federación, el programa de certificación CETRACI, (Certificación en Tecnología de Rociadores automáticos contra incendio), en su nivel básico bajo el estándar EC0371 Diseño de Sistemas Básicos de Rociadores Automáticos Contra Incendios, desarrollado en conjunto y con apoyo de la *Sprinkler Academy* de Estados Unidos. Este programa se encuentra avalado por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación (CONOCER), organismo descentralizado de la Secretaría de Educación Pública (SEP), la Asociación Mexicana de Empresas del

Ramo de Instalaciones para la Construcción (AMERIC), la Asociación Mexicana de Jefes de Bomberos (AMJB) [47].

Los especialistas certificados CETRACI prueban sus habilidades como técnicos en Diseño de Sistemas Básicos de Rociadores Automáticos Contra Incendios, mediante evaluaciones en donde se requiere demostrar un nivel de competencia de excelencia de manera teórica, práctica y en los sistemas de rociadores contra incendios. El sistema CETRACI, permite tener la confianza que brinda un estándar registrado en el registro nacional de estándares de competencia y que su proceso de examinación garantiza la transparencia y competencia al ser la Asociación Mexicana de Rociadores Automáticos Contra Incendios (AMRACI) y la *Sprinkler Academy* el organismo certificador [47].

El panorama anormal de incendios en México durante los últimos años, motivó que la AMRACI, NFPA, el Sistema Nacional de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación y organizaciones de la sociedad civil instituyeron en el 2014 el Comité Interinstitucional de Protección Civil para la Prevención de Incendios, integrado por diversas instituciones especialistas en prevención y protección contra incendios, el cual tiene la misión de apoyar a las autoridades en el diagnóstico y toma de decisiones respecto a los desastres previsibles en materia de incendio [48].

En Noviembre de 2014, el Comité Técnico Nacional de Productos de Protección y Seguridad Humana hizo entrega a la Secretaría de Economía su propuesta de Plan Nacional de Normalización 2015 y en el cual a petición de AMRACI fue incorporado el Proyecto de Norma Mexicana NMX-XX-SCFI-2015, SISTEMAS DE ROCIADORES AUTOMATICOS CONTRA INCENDIO- DISEÑO E INSTALACION. Para el mes de Octubre de 2015, se finalizó la elaboración del proyecto y fue presentado al Presidente del comité normalizador nacional para ser entregado a la Dirección General de Normas de la Secretaría de Economía para el trámite de su publicación en el Diario Oficial de la Federación [49].

Esta norma Mexicana permitirá sentar las bases para un correcto diseño de sistemas de rociadores y determinar aquellas áreas que de acuerdo a su grado de riesgo sea necesario se instalen; así mismo se incorporará la importancia de la certificación por competencias para los diseñadores en base al estándar EC0371, conocida en la industria como (CETRACI) [49].

Un factor importante para reforzar la profesionalización de ingenieros, técnicos y trabajadores del ramo contra incendio, es la creación del *Fire Prevention Institute* (FPI), organización conformada por la industria de protección contra incendios y la Asociación Mexicana de Rociadores Automáticos Contra Incendios cuyo objetivo es promover el desarrollo profesional continuo de los distintos actores de la industria de protección contra incendios que permita impulsar la profesionalización y la especialización en diseño, instalación y mantenimiento con apoyo de la NFSA, IFSA, *Canadian Automatic Sprinkler Association* (CASA) y FM Global [50].

Actualmente, además de la elaboración del proyecto para norma mexicana NMX-XX-SCFI-2015, la AMRACI actúa como participante en los siguientes comités para elaboración de proyectos de NMXs con el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCE) [51]:

- Anteproyecto de NMX Edificaciones Residenciales y/o Comerciales de ALTO desempeño energético, sustentable y tecnológico.
- Anteproyecto de Norma Mexicana Industria De La Construcción-Edificaciones De Alto Desempeño - Comisionamiento.

Por otra parte, en Octubre de 2014, el municipio de Garza-García en el estado de Nuevo León, incorporó a su Reglamento los sistemas automáticos de rociadores contra incendio para inmuebles multifamiliar, comercial y de servicios [52]. En el “Reglamento de Zonificación Y Usos del Suelo de San Pedro Garza García, Nuevo León”, se indica que las edificaciones con usos de suelo comercial y de servicios, industriales, destinos de equipamiento público o destinos de infraestructura deberán cumplir con lo señalado en la Guía de Referencia II de la

NOM 002 y además indica que se deberán colocar rociadores en los sótanos que cumplan con el uso de suelo antes mencionado [53].

En los próximos años, se espera revisar y adaptar para México los principales estándares internacionales en materia de protección contra incendio, introducirlos como normativa mexicana y finalmente incluirla dentro de las normas oficiales, para que adopten carácter obligatorio para ciertas construcciones, con la finalidad de salvar vidas y proteger el inmueble.

1.4 Justificación

A nivel mundial, las últimas décadas, el desarrollo científico y tecnológico en distintos campos del conocimiento ha evolucionado a pasos agigantados; y la industria contra incendio, no ha sido la excepción.

Los estudios e investigaciones elaborados por científicos y profesionistas de protección contra el fuego, han sentado las bases de nuevas y mejores aplicaciones de dispositivos, maquinaria y materiales, así como de comportamiento, protección y prevención del fuego.

Estados Unidos y naciones más desarrolladas, ya cuentan con más de un siglo en investigaciones al respecto, mientras Latinoamérica se encuentra en el punto donde estos países estuvieron hace cuarenta o cincuenta años [33].

En México, la implementación de sistemas contra incendio, se ha visto modificada por el replanteamiento de la normativa nacional en relación a este tema [54], así como por la capacitación continua a profesionales de la industria, promovida por instituciones dedicadas al fomento de la protección contra el fuego. Esto, ha sido el resultado por una parte, de la observación y experiencia tras innumerables desastres a casusa de incendios donde miles de vidas se han perdido, otras tantas han sido afectadas y las pérdidas materiales y económicas siguen siendo incalculables; y por otra, la confusa reglamentación contra incendio y falta de normativa en cuanto al diseño e instalación de sistemas de rociadores automáticos.

Por lo tanto, es prioritario comenzar a trabajar en la investigación relacionada a los sistemas hidráulicos de aspersores para fines de protección contra incendio, pues son los dispositivos más efectivos en la lucha contra el fuego y la protección de bienes e inmuebles. De esta manera, la investigación será la que marque (junto con la normativa y la capacitación), la pauta para realizar diseños hidráulicos efectivos, funcionales y adaptados a las características particulares de nuestro país.

El diseño de sistemas hidráulicos de rociadores contra incendio, son elaborados por especialistas quienes conjugan conocimiento y experiencia en sus proyectos y el cálculo hidráulico de este tipo de tuberías a presión, son realizados por *softwares* especializados en sistemas de aspersores.

En nuestro país, el tema contra incendio, su comprensión y diseño, son temas en desarrollo. Y las bases hidráulicas, criterios y su evaluación, siguen siendo confusas para ingenieros, arquitectos y propietarios de inmuebles quienes no se encuentran familiarizados con el tema.

Esta tesis, busca por un lado, colocar en perspectiva la situación latinoamericana y nacional que vivimos como profesionistas y ciudadanos en cuanto a la protección contra incendio, ubicándola dentro del concepto internacional de la lucha contra el fuego.

Así mismo, para la comprensión y análisis del diseño hidráulico de rociadores automáticos contra incendio, se plasman los pasos básicos de un proyecto de aspersores, con el adecuado manejo de conceptos, tablas, gráficos y normativa internacional. Para finalmente, modelar hidráulicamente el diseño en EPANET y comparar los resultados obtenidos con un programa especializado en el cálculo de sistemas de rociadores.

Los resultados obtenidos, brindaran un panorama general de la normativa actual de México en relación a la normativa internacional (FM y NFPA).

Y será, al mismo tiempo, un punto de partida para profesionistas que busquen entender, desarrollar y evaluar un sistema hidráulico de rociadores contra incendio, aun sin invertir miles de dólares en un programa especializado para el cálculo de sistema de aspersores automáticos.

1.5 Objetivo General y Específicos.

Plantear criterios hidráulicos para el diseño y modelación de sistemas automáticos de rociadores con distribución tipo parrilla, a partir del riesgo y las características de una edificación industrial.

- Revisar las normas internacionales, nacionales y locales, para la elaboración y análisis de una matriz comparativa, que permita el planteamiento de nuevos criterios hidráulicos.
- Proponer y diseñar un sistema automático de rociadores con distribución tipo parrilla y características de no almacenamiento, a partir de los criterios hidráulicos obtenidos en el análisis de las normas.
- Modelar hidráulicamente el sistema de rociadores en estudio, con la finalidad de evaluar el comportamiento de la presión, velocidad, gasto y bomba del sistema, así como el área calculada de aspersores.
- Evaluar la factibilidad técnica, de que un software especializado en modelación hidráulica pueda ser utilizado en el diseño y comprobación de un sistema de rociadores contra incendio.
- Establecer una metodología para el diseño de un sistema de rociadores contra incendio bajo condiciones de no almacenamiento, contemplando la modelación hidráulica.

CAPITULO 2. MARCO TEORICO

2.1 FUEGO

2.1.1 Química y Física del Fuego

El fuego es una reacción que depende de varios componentes, y se define como una reacción oxido-reducción, donde existe una transferencia de electrones desde un átomo o ion hasta otro, liberando gran cantidad de energía en forma de calor [55].

La NFPA define la combustión como una reacción exotérmica, auto-mantenida que involucra un combustible sólido, líquido, y/o en fase de gas [56].

Para comprender el inicio de un incendio es importante entender los conceptos de punto de ignición y auto ignición, cuya diferencia principal radica en una fuente que produce la combustión.

Dentro de los conceptos manejados en relación al fuego, se tiene el punto de ignición o *flash point*. En un líquido volátil el punto de ignición es la temperatura más baja a la cual puede vaporizarse para formar una mezcla inflamable en el aire. La medición del *flash point* de un líquido requiere una fuente de ignición. En el punto de ignición, el vapor puede dejar de arder cuando la fuente de ignición es removida. Es importante no confundir el punto de ignición con la temperatura de auto ignición, la cual no requiere una fuente y de la cual se hablara más adelante. El punto de combustión, es ligeramente de temperatura más alta y está definido como la temperatura a la cual el vapor continua quemándose después de ser iniciado[57].

La norma oficial mexicana, define el punto de ignición, como la temperatura mínima a la cual los materiales combustibles o inflamables desprenden una cantidad suficiente de vapores para formar una mezcla inflamable, la cual se

enciende aplicando una fuente de ignición, pero que no es suficiente para sostener una combustión [58].

Considerando primero una mezcla de un gas o vapor inflamable y aire, una ignición provocada se puede obtener con la introducción de una fuente de ignición, como una llama o chispa. Sin embargo, si la temperatura se eleva suficientemente, la mezcla presentara auto ignición, la cual es el comienzo de la combustión espontánea [56], y se define según la NOM-018-STPS-2000, como la temperatura mínima a la que una sustancia química entra en combustión en ausencia de chispa o llama [58].

La tabla 2.1 muestra un ejemplo entre las temperaturas de ignición y auto ignición de algunos líquidos combustibles.

Para líquidos y sólidos combustibles, la iniciación de las llamas ocurre en la fase de gas. Se debe suministrar primero la energía térmica (calor) para convertir una parte suficiente del combustible en vapor, creando así una mezcla inflamable de vapor y aire en la vecindad de la superficie. Para la mayoría de los combustibles líquidos, este es simplemente un proceso de Evaporación, pero casi todos los combustibles sólidos deben sufrir descomposición química antes de que se libere el vapor [56].

Tabla 2.1 Ejemplos de Punto de ignición y temperaturas de auto ignición [57].

Combustible	Punto de Ignición		Temperatura de Auto ignición	
	°C	°F	°C	°F
Ethanol	12.8	55	365	689
Gasolina	< -40	<104	246	475
Diesel	> 62	>143	210	410
Turbosina	>60	>140	210	410
Keroseno	>38 – 72	>100 – 162	220	428

Se puede generalmente identificar la temperatura mínima del líquido o sólido que sea capaz de producir una mezcla inflamable cerca de la superficie del combustible. Para combustibles líquidos, esto se define en términos de la temperatura de la masa del líquido, y se llama punto de inflamación. El mismo fenómeno se puede observar en los combustibles sólidos, pero se define como temperatura de superficie. Se debe alcanzar una temperatura ligeramente más alta (el punto de combustión) para que el combustible líquido (o sólido) continúe ardiendo después de que la mezcla inflamable se ha consumido [56].

Para producir fuego es necesaria la presencia de cuatro elementos: Combustible, Calor y Oxígeno y una reacción química en cadena, a lo cual se le denomina el tetraedro del fuego, el cual forma parte de la teoría moderna de la combustión [59].

La propagación del fuego, se lleva a cabo por la transferencia de calor este fenómeno gobierna todos los aspectos del incendio desde la ignición hasta la extinción final, donde el calor se transmite por: Conducción, Convección y Radiación [60].

La conducción, es la transferencia de calor a través de un sólido. La velocidad a la cual se transfiere el calor (energía) por conducción a través un cuerpo es función de la diferencia de temperaturas y la conductancia de la trayectoria involucrada. La conductancia depende de la conductividad térmica del área de la sección transversal normal a la trayectoria de conducción y de la longitud de la trayectoria [56]. Es decir, el calor fluirá de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura y la velocidad a la que el calor se transfiere por conducción es proporcional al gradiente de temperatura por el área a través de la que se transfiere el calor [60].

La convección implica la transferencia de calor por un fluido circulante (sea gas o líquido)[56]. El modo de transferencia de calor por convección en realidad consiste en dos mecanismos operando de manera simultánea. El primero es la

transferencia de energía generada por el movimiento molecular, es decir, el modo conductivo. Superpuesta a este modo se encuentra la transferencia de energía por el movimiento macroscópico de fracciones de fluido. El movimiento de este es un resultado de fracciones de fluido donde cada una consiste en una gran cantidad de moléculas que se mueven por la acción de una fuerza externa, la cual puede ser un gradiente de densidad, diferencia de presión generada por una bomba o ventilador o una combinación de ambas [60].

La radiación consiste en forma de energía que viaja a través del espacio sin necesidad de un medio; como sólido y fluido. Esta viaja como ondas electromagnéticas, similares a la luz, ondas de radio, y rayos X. En un vado todas las ondas electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz (3×10^{10} m/s). Si estas ondas se dirigen sobre la superficie de un cuerpo, pueden ser absorbidas, reflejadas y/o transmitidas [56].

La importancia del conocimiento de conceptos tales como los mencionados, radica en la acción que se tomara no solo para controlar y sofocar el fuego, sino para diseñar sistemas apropiados y funcionales conociendo de antemano los riesgos debido a los materiales contenidos en el medio a proteger.

2.1.2 Clasificación y Desarrollo de un Incendio

Puede decirse que el fuego se convierte en un incendio cuando la magnitud es tal, que no se puede controlar y produce perdidas de diverso tipo: daños a la propiedad, deterioro de la materia prima, productos, maquinaria y equipo, atrasos en los procesos, cierre temporal o definitivo de operaciones, costos indemnizaciones, lesiones al personal y pérdidas humanas, deterioro del ambiente, entre otros [61].

La NFPA, clasifica los incendios bajo los siguientes puntos: (1) tipo de proceso de combustión, (2) tasa de crecimiento, (3) ventilación, y (4) etapa del incendio, como lo muestra la figura 2.1.

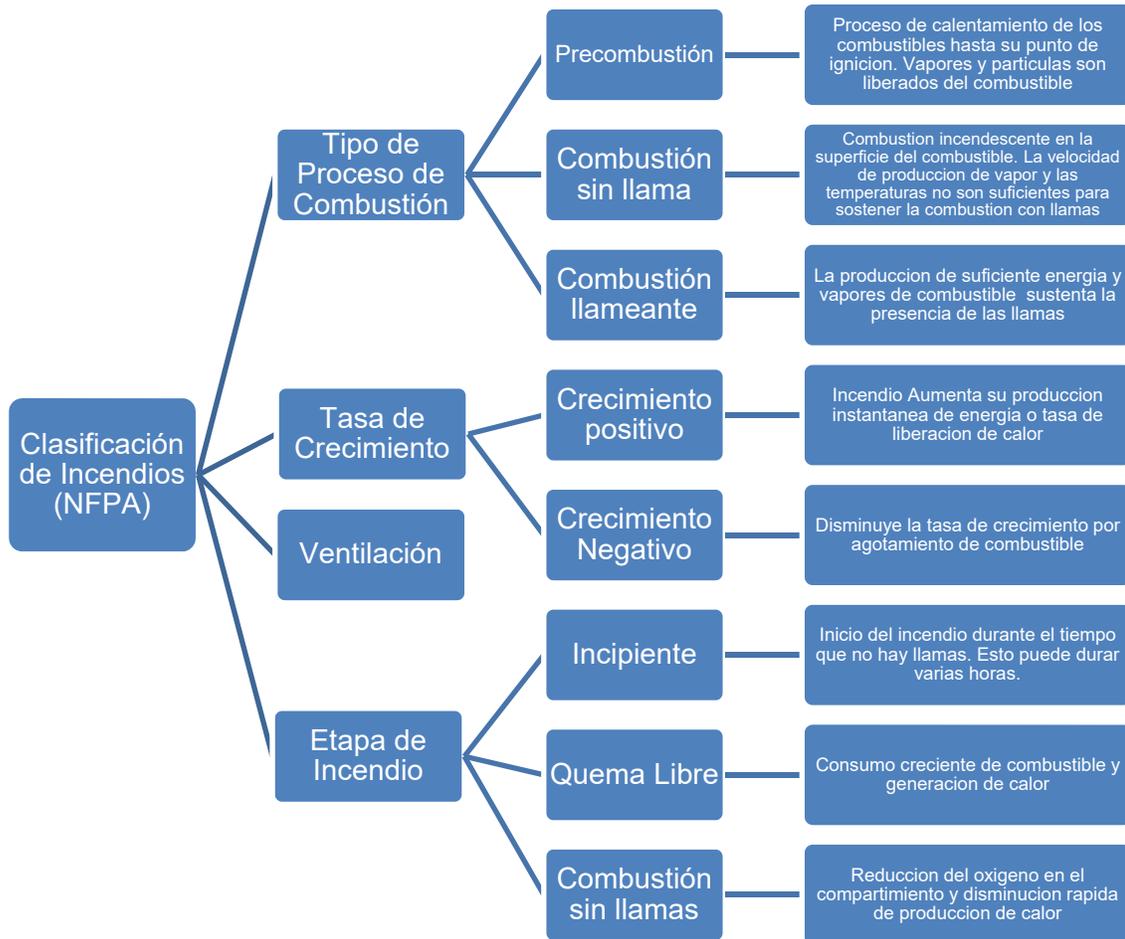
Es importante mencionar que en la clasificación por tasa de crecimiento existen dos categorías adicionales: El incendio en régimen permanente donde la producción de calor del incendio o tasa de liberación de calor permanece relativamente constante en el tiempo. La segunda categoría se refiere a la velocidad a la cual se acelera el crecimiento. Estos se consideran incendios "dependientes del tiempo". Se ha determinado que los incendios típicos como los de residencias y oficinas crecen como función del cuadrado del tiempo y se conocen como incendios "de tiempo cuadrático" [56].

En relación a la clasificación por etapa de incendio, NFPA menciona que el fuego incipiente, la quema libre y la combustión sin llamas, son típicamente los tres pasos en que progresa un incendio, y estos pueden retroceder a la fase dos y continuar la quema libre en la etapa de producción de llamas, debido a cambios de ventilación. Esta clasificación de tipos de incendios por etapas ha sido útil en el pasado para describir las condiciones generales de la combustión, pero no se debe confiar en ella como una descripción rigurosa de la secuencia de eventos involucrados en la ignición, el crecimiento y propagación de los incendios [3].

Un incendio se desarrolla por múltiples factores, generalmente por fallas técnicas y descuidos, y su magnitud muchas veces depende del comportamiento humano y la preparación que se tenga al respecto. Es decir, el incendio puede controlarse si la población, dueño o personal está consciente de lo que se debe hacer en el momento del siniestro.

Según el autor Ryan Chinchilla (2002), las causas que producen incendios tienen relación con la ausencia de medidas de seguridad en las instalaciones o métodos de trabajo por [61]:

- Deficiencias eléctricas: cables o dispositivos en mal estado.
- Almacenamiento inseguro de productos químicos: En lugares poco ventilados, susceptibles a explosiones y almacenamiento de sustancias incompatibles
- Falta de orden y limpieza en lugares de trabajo.
- Falta de mantenimiento de máquinas y equipos, donde las piezas móviles pueden ocasionar chispas por fricción.
- Manejo inseguro de recipientes de gas y deterioros ocasionando fugas, las cuales pueden iniciar incendios por el contacto con calor o fricción.
- Uso de descargas a tierra de recipientes con combustible.



Elaboración propia.

Figura 2.1 Clasificación de Incendios según NFPA.

Para evitar estos puntos debemos identificar el riesgo del lugar para desarrollar las medidas necesarias de acción contra incendios y por otra parte es indispensable que el personal y la población en general tengan una capacitación adecuada para actuar antes y durante este tipo de desastres.

La importancia de conocer el desarrollo de un incendio radica en identificar si el incendio se puede o no propagar más allá del origen del mismo y por consiguiente determinar los riesgos de fuego en la edificación.

Comenzando con los primeros materiales incendiados, las primeras etapas de un incendio proporcionan el impulso para el crecimiento y propagación, tanto dentro del compartimiento como a otras partes del edificio. El incendio sirve no solo como fuente de energía para alimentar las llamas y gases calientes para la propagación del incendio, sino como fuente de partículas de humo y gases tóxicos y corrosivos que forman los productos de la combustión. La velocidad y cantidad de energía, producida por el incendio inicial en un compartimiento determinará con frecuencia si el incendio se va a propagar más allá de ese compartimiento o no [56].

El combustible disponible para el crecimiento y propagación del incendio se puede caracterizar de dos maneras: (1) la velocidad a la que se quema y libera energía dentro del entorno del compartimiento y (2) la energía total disponible que podría liberar el combustible. Cada una de estas características se usa para describir la gravedad del riesgo o potencial de incendio [56].

Según la NFPA en su Manual de protección contra incendios, el material para la prevención, control o extinción del fuego y aquellos principios de la ciencia de la ingeniería de protección contra incendios se fundamenta bajo lo siguiente:

1. Un agente oxidante, un material combustible, y una fuente de ignición son esenciales para la combustión. (Con excepción de la combustión espontánea, que no requiere una fuente independiente de ignición).

2. El material combustible debe calentarse hasta su temperatura de ignición mediante fuente de ignición (de calor) antes de que pueda prenderse o sostener la propagación de las llamas.
3. La quema subsecuente del material combustible está gobernada por la retroalimentación de calor de las llamas al combustible en pirolisis o vaporización.
4. La combustión continúa hasta que suceda uno de los siguientes puntos:
 - a. Se haya consumido el material combustible.
 - b. La concentración del agente oxidante disminuya por debajo de la concentración necesaria para sostener la combustión.
 - c. Se haya eliminado suficiente calor o prevenido que alcance al material combustible, evitando así la pirolisis ulterior del combustible.
 - d. Las llamas sean inhibidas químicamente o enfriadas lo suficiente para evitar reacciones posteriores.

Desarrollo del Incendios en Lugares Cerrados.

En un recinto los efectos de los límites como lo son paredes y cielo raso, afectan considerablemente el desarrollo y propagación de un incendio, al afectar y controlar las pérdidas de calor y la tasa de liberación de calor, según lo establece la NFPA. Este cielo raso actúa como radiador para calentar otros objetos en el recinto, la radiación de la capa también aumenta la tasa de combustión de los objetos ya incendiados [56].

Durante el desarrollo de un incendio en este tipo de recintos, existen puntos esenciales que deben ser reconocidos no solo por los ocupantes, sino por los profesionales que se dedican al combate directo del incendio poniendo en riesgo sus vidas. Entre estos conceptos esta: el *flashover* o combustión súbita generalizada y el *blackdraft*.

El *flashover* es un aumento repentino de la velocidad de propagación de un incendio confinado debido a la súbita combustión de los gases acumulados bajo el techo y a la inflamación generalizada de los materiales combustibles del recinto como consecuencia de la radiación emitida por esta capa de gases caliente donde la ventilación del flashover es controlada por el tamaño de las aberturas del recinto y la posición de la capa de gases calientes en la abertura [62] [56].

Las condiciones para que se produzca un *flashover* son [62]:

- La existencia de incendio en un espacio cerrado.
- Una suficiente aportación de aire.
- Confinamiento de los gases de combustión que da lugar al *flashover* y a la explosión de gases.

La NFPA, considera dos condiciones para que se produzca un flashover se alcanzan cuando (1) la capa superior de gas esta aproximadamente a 600°C y (2) el flujo radiante de los materiales no incendiados en el recinto es aproximadamente 20 kW/m² [56].

El desarrollo de un incendio hasta el *flashover*, se analizan a continuación:

Tanto los gases calientes como el propio techo emiten una radiación hacia abajo que va aumentando la temperatura de las superficies combustibles de la habitación. A partir de cierta temperatura, estos materiales empezarán a liberar volátiles inflamables como consecuencia del inicio del proceso de pirolización. Este fenómeno tendrá lugar en toda el área del recinto bajo cuyo techo se hayan acumulado gases suficientemente calientes, a pesar de encontrarse a una distancia considerable del origen del fuego. En esta fase, la radiación principal vendrá del techo, no de la propia llama. Cuando el calor radiado por el foco del incendio, los gases del techo y el propio techo elevan la concentración de los gases destilados en la superficie del mobiliario y revestimientos hasta alcanzar su límite inferior de inflamabilidad, es decir, a la temperatura de ignición de los combustibles presentes en el recinto, cualquier fuente de ignición, que

generalmente provendrá del propio foco del incendio, provocará el incendio generalizado de todos los materiales combustibles de la habitación [62].

Los gases liberados por el fuego contienen monóxido de carbono que, mezclado con aire en la proporción adecuada, se inflamará a unos 600°C. Esto ocurre generalmente cuando las llamas alcanzan la nube de gases acumulados en lo alto del recinto. Estas llamas alcanzan el techo y empiezan a extenderse horizontalmente aumentando la intensidad de los fenómenos anteriormente descritos. Cuando los gases se calientan por encima de los 650°C, el CO₂ se transforma en CO, convirtiendo en combustible un gas que en principio actuaba como retardante. Esta cadena exponencial de liberación térmica genera una temperatura en la capa de gases que permite la reacción del carbono libre con el vapor de agua liberando monóxido de carbono e hidrógeno, ambos altamente combustibles, que se sumarán a la cadena de la combustión [62].

Según la comunidad de Bomberos de Madrid (2004), el fenómeno *backdraft* recibe diversos nombres, de este modo *backdraft* sería la expresión norteamericana, *backdraught* en Inglaterra, flashover rico y demorado según la escuela sueca, y explosión de humo según algunos autores españoles [62].

Backdraft se define como una explosión, de violencia variable, causada por la entrada de aire fresco en un compartimiento que contiene o ha contenido fuego, y donde se ha producido una acumulación de humos combustibles como consecuencia de una combustión en condiciones de deficiencia de oxígeno. Este proceso por el que se produce un *backdraft* todo el gas se mezcla con el aire antes de la ignición. Se produce entonces una “explosión de gas de fuego” con un elevado aumento de presión y temperatura. La onda de presión producida destruye puertas y ventanas acompañado con frecuencia de daños en la estructura [62].

Dos factores imprescindibles para el desarrollo de un *backdraft* son: existencia de una mezcla rica de gases y la presencia de una fuente de ignición a una gran distancia o que esté oculta o sea intermitente.

El proceso de este fenómeno es: a) Acumulación de gases calientes de combustión, b) empobrecimiento del aire en el interior y enriquecimiento de los gases calientes, c) aparición de una corriente inferior entrante como consecuencia de la repentina ventilación del compartimiento y la consiguiente creación de una zona dentro del rango de inflamabilidad que avanza hacia el interior, y d) la ignición y propagación de la llama de forma turbulenta hasta el exterior del compartimiento: *backdraft* o explosión de humo [62].

La diferencia principal entre el flashover y *backdraft* radica en la presencia de ventilación.

Si bien, cuando hablamos de flashover, decimos que éste se produce en los incendios en recintos cerrados cuando se aporta aire de modo más o menos libre a través de puertas o ventanas, el fenómeno del *backdraft* sólo puede producirse debido a la falta de ventilación de un recinto. De este modo, el oxígeno se va consumiendo dando lugar a una combustión incompleta que junto con el intenso calor de la etapa de combustión libre y las partículas libres no quemadas de carbono más los gases inflamables como el CO (monóxido de carbono) y el SO₂ (dióxido de azufre) generan una atmósfera potencialmente muy peligrosa. Este fuego latente genera grandes cantidades de humo combustible que inunda la totalidad del recinto y da origen a una evolución pulsante del fuego, pudiendo llegarse a la total extinción por agotamiento del comburente. Si durante esta fase un bombero abre una puerta o una ventana para acceder a la habitación, permitirá un aporte de oxígeno que posibilitará la combustión súbita de los gases inflamables allí acumulados [62].

No debe confundirse una explosión de humo o *backdraft* con una explosión de gases inflamables (metano, etc.). En una explosión de gas el combustible es un gas diferente al producido por una combustión pobre en comburente. La acumulación de combustible no se debe a un incendio sino generalmente a un escape de gases inflamables o a una volatilización [62].

La comprensión de estos conceptos tiene la finalidad de llevar al profesional del área a determinar los puntos clave en los que un incendio puede ser evitado o en su defecto controlado. Así como evaluar el tiempo en los que es oportuno intervenir al momento de un siniestro.

2.1.3 Extinción de Incendios

El fuego se compone de tres elementos básicos y dependientes uno del otro: combustible, oxígeno y calor. Para producir un incendio es necesario sumar a estos elementos una reacción en cadena. Al ser dependientes un elemento del otro, es necesario eliminar uno de puntos para detener un incendio.

La transferencia de calor para provocar un incendio se realiza por tres métodos: convección, radiación y conducción, los cuales fueron descritos anteriormente. Sin embargo en la práctica, el calor suele transferirse mediante varios de los mecanismos básicos que suceden de manera simultánea [60].

Los métodos de la extinción de incendio pueden darse por enfriamiento o reducción de temperatura; sofocación donde se reduce la presencia de oxígeno cubriendo el material combustible con material no combustible; y finalmente, por eliminación donde se cierra el suministro de material líquido que se incendia y se retira el material sólido combustible de la zona [59].

De manera similar, la NFPA, señala que pueden usar para extinguir el fuego uno o más de los siguientes mecanismos (casi siempre y varios simultáneamente) [56]:

- La separación física de la sustancia combustible de la llama.
- Eliminación o disolución del suministro de oxígeno.
- Reducción de la temperatura del combustible o de la llama.
- Introducción de productos químicos que modifiquen el proceso químico de la combustión.

La extinción puede lograrse mediante el enfriamiento de (1) la zona de combustión gaseosa o (2) el combustible sólido o líquido. En el último caso, el enfriamiento evita la producción de vapores combustibles. Es decir, la extinción del fuego se puede dar cuando se disminuye la temperatura de la llama o añadiendo un inhibidor químico que interfiera con la reacción en cadena [56].

2.1.3.1 Extinción Con Agua

La extinción con agua es una de las más comunes por su bajo costo y su fácil disponibilidad en comparación con otros líquidos. El agua tiene un alto calor de vaporización por unidad de masa. Es no tóxica considerando que un gas inerte como el nitrógeno líquido puede causar asfixia. El agua puede ser almacenada a presión atmosférica y temperaturas normales. Sin embargo, el agua no es un agente extintor perfecto. Es conductor de electricidad, puede causar daños irreversibles a algunos elementos, no es efectiva en incendios de líquidos inflamables sobre todo aquellos insolubles en agua y los que flotan como los hidrocarburos, por lo cual en incendio de este tipo se prefieren otros agentes como espumas, gases inertes, halones, etc. [56]

El agua puede extinguir un incendio por una combinación de mecanismos (enfriamiento del combustible sólido o líquido; enfriamiento de la llama misma; generación de vapor que evita el acceso de oxígeno; y como niebla, bloqueando la transferencia de radiación). Aunque todos estos mecanismos pueden contribuir a la extinción, probablemente el más importante es el enfriamiento de un combustible en gasificación [56].

2.1.3.2 Extinción con Espuma

La espuma para extinción de incendios es una masa de burbujas formadas por diferentes métodos de soluciones acuosas de agentes espumantes especialmente formulados. Como la espuma es mucho más liviana que cualquier líquido inflamable este flota sobre el líquido produciendo una capa continua de

material acoso, que excluye el aire y enfría y puede detener o prevenir la combustión [56].

La aplicación principal de los agentes de espuma es la de combatir fuegos producidos por líquidos inflamables derivados del petróleo: gasolinas, grasas, aceites, etc. Así como en aquellos casos donde líquidos o sólidos arden en lugares o espacios de difícil acceso como cuartos en sótanos o bodegas de buques, en estos casos la espuma se utiliza para inundar completamente el compartimiento [55].

El uso de espumas para protección contra incendios requiere tener en cuenta sus características generales. La espuma se descompone y vaporiza su contenido de agua cuando es atacada por el calor y las llamas. Por lo tanto, se debe aplicar a la superficie incendiada con suficiente volumen y velocidad para compensar esta pérdida y suministrar una cantidad adicional para garantizar una capa de espuma residual sobre la parte extinguida del líquido incendiado. Antes de empezar a aplicar espuma a un incendio grande, se debe haber acumulado la suficiente cantidad de concentrado de espuma para completar el trabajo. Nada se logra si se extingue solamente parte del incendio y se agota la espuma, porque el incendio a su intensidad original [56].

2.1.3.3 Extinción con Niebla de Agua

Se pueden usar los tres métodos siguientes para distribuir la niebla de agua:

1. Instalación fija, en la que se usa niebla fina de agua para inactivar un compartimiento donde pueda ocurrir un incendio, tal vez en un lugar oculto e impredecible.
2. Boquillas fijas de rocío colocadas alrededor del sitio del posible incendio.
3. Un extintor portátil con rocío o niebla fina.

El bloqueo de la radiación por medio de niebla frecuentemente es eficaz para reducir la intensidad o velocidad de propagación del fuego, pero raramente suficiente para extinguirlo por sí solo. Por lo tanto puede decirse que la efectividad de la niebla fina depende del momentum de la proyección y la dirección de la niebla del agua con respecto al fuego y de la geometría del compartimiento [56].

2.1.3.4 Extinción con gases inertes.

El agua actúa para extinguir los incendios principalmente por enfriamiento, aunque la formación de vapor ayuda a diluir la concentración de oxígeno. Por otra parte, los gases inertes actúan para extinguir los incendios principalmente por dilución. El dióxido de carbono es el gas inerte más utilizado, aunque es posible emplear nitrógeno o vapor. Teóricamente, podrían usarse helio, neón o argón, pero son costosos, y no hay razón para usarlos excepto en casos especiales como en incendios de magnesio.

La adición de Nitrógeno o dióxido de carbono en un incendio, reducen el nivel de oxígeno al punto en el que el ser humano se ve afectado y se pueden producir efectos indeseables. Por lo cual es recomendable estudiar la factibilidad de utilizar un sistema de supresión a base de gases inertes antes de instalarlo o inclusive de usarlo [55].

2.1.3.5 Extinción con agentes halogenados

Los agentes extintores halogenados, o halones, son derivados químicos del metano (CH_4) o etano ($\text{CH}_3\text{-CH}_3$), en los que algunos o todos los átomos de hidrógeno han sido reemplazados con átomos de flúor, cloro, o bromo, o con una combinación de estos elementos halógenos. Estos agentes son líquidos cuando se guardan en tanques presurizados a temperaturas normales, pero la mayoría de ellos son gases a presión atmosférica y temperaturas normales. .

Los agentes halogenados se pueden usar en incendios eléctricos, en casos donde el agua o los químicos secos podrían causar daños, o para la inundación de compartimientos con gas inerte. Los agentes halogenados tienen dos ventajas principales sobre el dióxido de carbono:

1. Ciertos agentes halogenados son eficaces en concentraciones volumétricas tan bajas que queda suficiente oxígeno en el aire para respirar cómodamente después de la inundación del compartimento.

2. En ciertos agentes halogenados, la vaporización parcial ocurre solamente al comienzo durante la proyección desde una boquilla, y el líquido se puede proyectar más lejos que el dióxido de carbono.

Las desventajas de usar agentes hidrogenados tienen que ver con la toxicidad y corrosividad de sus productos de descomposición y con el efecto perjudicial que tienen los compuestos halogenados en la capa de ozono de la tierra [56].

Los agentes químicos secos sofocan la flama por medio de un mecanismo químico, formando productos volátiles que reaccionan con los átomos de hidrogeno o los radicales oxhidrilo. 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 caso del fosfato mono amónico, formando una capa superficial [55].

2.1.3.6 Extinción con Agentes de Químicos Secos

Los químicos secos ofrecen una alternativa al dióxido de carbono o los halones para la extinción de incendios sin utilizar agua. Estos polvos, que tienen un tamaño de 10 a 75 micrones, son lanzados por un gas inerte [56]. De los siete agentes químicos secos que se utilizan, solo el fosfato mono amónico es efectivo

para combatir incendios profundos, ya que se forma una capa vidriosa de ácido fosfórico en la superficie del combustible [55].

La aplicación de cualquier agente de químico seco a incendios eléctricos es segura para los bomberos, desde el punto de vista del choque eléctrico. Sin embargo, estos agentes, especialmente el fosfato de mono amonio puede dañar los equipos eléctricos [56].

2.1.3.7 Casos especiales de Extinción.

Dentro de los desastres por incendio, existen casos especiales donde el fuego es producido por materiales poco comunes dado su origen y almacenamiento. Entre estos están, los incendios por gases tridimensionales, de metales e incendios químicos, y se refiere a aquellos gases combustibles con flujo continuo. Este tipo de incendios son difíciles de controlar. Según la NFPA, la mejor táctica es cortar el flujo de combustible antes de iniciar el combate del incendio, ya que de no ser así, pueden ocurrir dos escenarios: Si se logra la extinción mientras el gas todavía está fluyendo dentro del edificio, entonces se introduce el peligro de llenar el edificio con una mezcla explosiva de gas y entonces, sería mejor dejar que la llama siga ardiendo; por otra parte es probable que se presente la re-ignición después de la extinción temporal, y el suministro del agente extintor podría haberse agotado entonces, sobre todo si no se enfrían los materiales metálicos circundantes al incendio y no se apaga o desactiva otra fuente de ignición alrededor [56].

Incendios por gases metálicos. La NFPA señala que la dificultad de combatir incendios con metales, radica en las altas temperaturas que alcanzan estos materiales y los tiempos requeridos de enfriamiento. Para sofocar este tipo de incendios no se recomienda el uso de agua, ya que muchas veces reacciona exotérmicamente con el metal, formando hidrogeno el cual es altamente

inflamable. Por otro lado, si el agua penetra el metal derretido puede provocar explosiones violentas de vapor [56].

Para combatir los incendios por metales, los únicos gases inertes aceptables son el helio y el argón, ya que el nitrógeno reacciona con ciertos metales. No se deben usar halones en incendios de este tipo. Existen otros compuestos efectivos para combatir incendios de esta clasificación pero dependerán del metal que este propenso a incendiarse. Los gases inertes anteriormente mencionados, se utiliza para cualquier tipo de metal [56].

Los incendios químicos, son especialmente peligrosos tanto para la salud como para el medio ambiente. El uso de agua debe ser bien estudiado ya que ciertos químicos inorgánicos reaccionan con agua. Aun si se diera el caso que los productos químicos no fuesen combustibles, podrían estar empacados en cajas combustibles y por lo tanto involucrarse en un incendio o podrían estar almacenados en estantes sobre elementos combustibles [56].

El conocer los métodos de extinción de fuego, nos permite elegir la mejor alternativa para proteger el lugar desde la fase de diseño y seleccionar el equipo y los elementos adecuados para combatir un incendio cuando este se presente.

2.1.4 Productos de la Combustión.

Cuando participan los cuatro elementos: combustible, calor, oxígeno y una reacción química en cadena se generan productos de combustión, tales como humos, gases, vapores y residuos sólidos, así mismo, la cantidad de llamas y de calor se incrementan considerablemente conforme avanza dicha combustión [61].

Los productos de la combustión son cuatro: gases, llama, calor y humo. Y son determinados por los materiales que participan en el incendio y las reacciones químicas resultantes producidas por el fuego [59].

2.1.4.1 Llamas

La llama, se consideran un producto propio, característico de la combustión y es [59]. Cuando la combustión se produce en una atmósfera con una concentración normal de oxígeno, suele ir acompañada por la emisión de una radiación luminosa, o llama [62].

Las llamas son gases incandescentes visibles alrededor de la superficie del material en combustión. Aunque el combustible que arde sea sólido o líquido, la presencia de llamas denota la emisión de gases o vapores por efecto del calor. La combustión completa de materiales orgánicos produce llamas prácticamente incoloras. El color que ofrecen en la mayoría de los casos se debe a la presencia de partículas sólidas, generalmente de carbono, que arden en el seno de las mismas y el color de la llama depende, además de la composición química del combustible, de la cantidad de oxígeno presente [62].

En algunos casos se producen combustiones sin llama (ascuas). La radiación luminosa emitida en estos casos se conoce como incandescencia y es de mayor longitud de onda ya que se encuentra en la zona del rojo y del infrarrojo, y por tanto de menor energía [62]. NFPA señala que la combustión sin llama es una combustión incandescente en la superficie del combustible y puede estar o no relacionada de alguna manera al contenido de oxígeno en la vecindad del proceso de combustión sin llamas. Lo que se sugiere es que la velocidad de producción de vapor del combustible y las temperaturas involucradas pueden no ser suficientes para sostener la combustión con llamas [56].

2.1.4.2 Calor

De los productos de la combustión, el calor es el responsable principal de la propagación del fuego [59].

El calor es una forma de energía, consecuencia de los movimientos constantes de las moléculas, las cuales, en el seno de la materia, están entrechocándose constantemente. Cuanto mayor es la energía cinética de las moléculas, mayor es la violencia de los choques entre ellas y el calor desprendido. Así, la temperatura de un cuerpo cuyas moléculas se hallaran en un estado total de reposo sería del cero absoluto. Al aumentar la energía cinética de las moléculas, los choques tienen por efecto separarlas unas de otras (de ahí la dilatación que experimentan los cuerpos al aumentar la temperatura) [62].

La cantidad de calor liberado por un fuego por unidad de tiempo depende de su calor de combustión (que es la cantidad de energía producida por cada unidad de masa quemada), de la masa de combustible consumida por unidad de tiempo y de la eficiencia del proceso de combustión [56].

2.1.4.3 Humo

El humo es una materia formada por diminutas partículas sólidas y vapor condensado. Los gases procedentes de materias de uso común, como la madera, contienen vapor de agua, dióxido de carbono y monóxido de carbono; en las condiciones normales de escasez de oxígeno que se producen en un incendio y que dificultan la combustión completa, hay también metano, metanol, formaldehído y ácidos fórmico y acético. Estos gases suelen producirse a partir de la materia combustible y a velocidad suficiente portan pequeñas gotas de brea inflamable que aparecen como humo. Estas partículas de carbón y brea son visibles y los gases de la combustión que las portan son lo que se denomina humo. Las partículas pueden ser de color, dimensiones o cantidades tales que obscurezcan el paso de la luz [62].

2.1.4.4 Gases de la Combustión

Son aquellos que permanecen en el aire al retornar los productos de combustión a las temperaturas normales [62]. La cantidad y el tipo de gases del

fuego que se encuentran presentes durante y después de un incendio, varían en gran medida de acuerdo con la composición química del material quemado la cantidad de oxígeno disponible y la temperatura [59].

Los gases más comunes en un incendio son el dióxido y monóxido de carbono, sin embargo, dependiendo del material que arda, se producen diversos gases tanto tóxicos como corrosivos, entre ellos: Anhídrido sulfuroso, amoníaco, cloruro de hidrogeno, amoníaco, acroleína, cianuro de hidrogeno, dióxido de nitrógeno y fosgeno [62].

En los incendios, la inhalación de estos gases o aire caliente son la principal causa de fallecimiento. Siendo mucho más numerosos que el total de muertos debido a todos los demás agentes en su conjunto [62].

2.1.5 Clasificación De Fuego

La clase del fuego, se refiere a la clasificación del fuego de acuerdo al tipo de combustible involucrado [57].

El fuego ha sido clasificado para simplificar la aplicación y uso de los agentes extintores, dependiendo del tipo de incendio que se presente [63].

A continuación se presentan la clasificación del fuego según NFPA, FM Global, la Norma Técnica complementaria para el Diseño Arquitectónico y NOM-002-STPS-2008.

2.1.5.1 Clasificación del fuego por NFPA.

NFPA, clasifica el fuego de la siguiente manera [64]:

- Fuego Clase A: Son aquellos de material combustible ordinarios, tales como: madera, ropa, papel, caucho y diversos plásticos.

- Fuego Clase B: Fuegos debidos a líquidos inflamables, líquidos combustibles, grasas de petróleo, alquitranes, aceites, pinturas de base aceite, solventes, lacas, alcoholes y gases inflamables.
- Fuego Clase C: Aquellos que involucran equipo eléctrico energizado.
- Fuego Clase D: Aquellos fuegos producidos por metales combustibles, tales como magnesio, titanio, zirconio, sodio, litio y potasio.
- Fuego Clase K: Fuegos derivados de aplicaciones culinarias, tales como combustibles de cocina (aceites animales o vegetales y grasas).

2.1.5.2 Clasificación del fuego por FM Global

La compañía aseguradora FM Global, clasifica el fuego de la siguiente manera [63]:

- Fuego de Combustibles ordinarios (Clase A): tales como madera, ropa o papel, donde los efectos de enfriado y templado del agua o soluciones, tengan grandes porcentajes de agua o donde los químicos secos multiusos que tengan un efecto de clorado y sean de importancia.
- Fuegos de líquidos inflamables (Clase B): tales como aceites, gasolinas, grasas o pinturas, donde la interitzación, falta de oxígeno o efectos químicos inhibidores son esenciales.
- Fuego en equipos eléctricos (Clase C): donde la importancia primordial es un agente extintor no conductor.
- Fuegos en metales (Clase D): tales como magnesio, aluminio en polvo, zinc, sodio o potasio, donde los agentes extintores ordinarios son ineficientes. Los fuegos metálicos se controlan mejor cubriéndolo con un polvo especial o materiales granulados que excluyen oxígeno y no reaccionan o se combinan adversamente con el metal. La aplicación deberá ser realizada a mano con pala o por un extintor operado por cartuchos.

2.1.5.3 Clasificación del fuego según la Norma Técnica Complementaria para el Diseño Arquitectónico.

Según la tabla 4.8 “Clase de Fuego según el material sujeto a Combustión” de la Norma Técnica complementaria para el diseño Arquitectónico, el fuego se clasifica de la siguiente manera [65]:

- Fuego Clase A: Fuegos de materiales solidos de naturaleza orgánica tales como trapos, viruta, papel, madera, basura y en general, materiales solidos que al quemarse se agrietan, producen cenizas y brasas.
- Fuego Clase B: Fuegos que se producen como resultado de la mezcla de un gas (butano, propano, etc.) o de los vapores que desprenden los líquidos inflamables (gasolina, aceites, grasas, solventes, etc.) con el aire y flama abierta.
- Fuego Clase C: Fuegos que se generan en sistemas y equipos eléctricos “energizados”.
- Fuegos 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.

2.1.5.4 Clasificación del fuego según la Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2010.

La norma mexicana clasifica el fuego como [45]:

- Fuego Clase A: Es aquel que se presenta en material combustible sólido, generalmente de naturaleza orgánica y que su combustión se realiza normalmente con formación de brasas.
- Fuego Clase B: Es aquel que se presenta en líquidos combustibles e inflamables y gases inflamables.

1. Fuego Clase C: Es aquel que involucra aparatos, equipos e instalaciones eléctricas energizadas.
2. Fuego Clase D: Es aquel en el que intervienen metales combustibles, tales como el magnesio, titanio, circonio, sodio, litio y potasio.
3. Fuego Clase K: Es aquel que se presenta básicamente en instalaciones de concina, que involucra sustancias combustibles, tales como aceites y grasas vegetales o animales. Los fuegos clase K ocurren en los depósitos de grasa semipolimerizada y su comportamiento es distintos a otros combustibles.

Como se puede observar, la clasificación es similar para los estándares y normas antes mencionados, con ligeras variaciones y conceptos. Es importante mencionar que solo NFPA y la NOM-002-STPS-2010, Consideran los fuegos clase K. Mientras FM Global, ha desarrollado fichas técnicas específicas para fuegos debidos aceites de cocina (FMDS-7-22 "*Oil Cookers*") y fuegos para líquidos inflamables donde se realiza una clasificación determinados por las propiedades físicas inherentes de los factores de líquidos y externos, tales como la cantidad de líquido, temperaturas de proceso, las tasas de flujo de procesos y la construcción de edificios, según lo señalado por la ficha técnica FMDS-7-32 "*Ignitable liquid operations*".

Por otra parte, a pesar de que la Norma Técnica complementaria para el Diseño arquitectónico, hace referencia a las Normas Oficiales Mexicanas, la clasificación de fuego en cocinas no está considerada en la tabla 4.8 "Clase de Fuego según el material sujeto a Combustión". Es importante mencionarlo ya que los fuegos en cocina requieren de agentes extintores especiales debido a los materiales inflamables que se manejan.

2.2 RIESGO DE INCENDIO EN EDIFICACIONES

El determinar la clasificación del riesgo de incendio en una edificación es de suma importancia y es el primer paso para diseñar un sistema contra incendio. Es el punto de partida que nos proporcionara los parámetros para el diseño hidráulico, así como los requerimientos de equipos (rociadores, bombas, gabinetes, tanque de almacenamiento, etc.).

Sin embargo, es indispensable distinguir entre un análisis de riesgo y una clasificación de riesgo.

2.2.1 Análisis de Riesgo

El análisis del riesgo de incendio, es la forma de análisis más completa que puede aplicarse a cualquier elección en seguridad contra incendios. Este se ocupa de todos los tipos de incendios que pueden ser afectados por la elección, por ejemplo, del producto, del diseño del edificio, de cualquier cosa que afecte potencialmente la seguridad contra incendios, no solamente un incendio o unos pocos incendios seleccionados. Este proporciona un esquema flexible para estimar el impacto de cualquier tipo de programa o estrategia sobre seguridad contra incendios, en términos de reducciones reales como pérdidas (muertes, lesiones y daño a la propiedad) y los costos de esos programas y estrategias [56].

Este análisis no proviene de las ciencias exactas, sino de la teoría sobre decisión estadística, la cual tiene como base los campos de la economía e investigación de operaciones, en general el análisis del riesgo mide las muertes, los heridos y el daño a la propiedad, realizando suposiciones clave en las áreas de interés [56].

Las compañías de seguros internacionales que suscriben en peligro de un posible incendio, cuentan con ingenieros que realizan los análisis de riesgos correspondientes para estimar la posibilidad de un accidente de este tipo y

severidad del mismo. Dependiendo de la presencia o ausencia de los dispositivos, nos subrayara la importancia que representa la instalación de un sistema de rociadores automáticos diseñado correctamente [66].

2.2.2 Clasificación de Riesgo

La clasificación de riesgo es un elemento crucial en el diseño de cualquier sistema contra incendio, especialmente en el diseño de rociadores automáticos.

Existen a nivel internacional según NFPA, dos tipos de clasificación de riesgo: Por ocupación y por contenidos/almacenamiento (*Commodities*).

La aseguradora internacional, FM-Global, considera una clasificación partiendo del tipo de almacenamiento del lugar.

Por su parte, la normativa mexicana considera también una clasificación de riesgo la cual se detallará más adelante.

2.2.2.1 Clasificación de Riesgo por NFPA

La NFPA, en su estándar 13 “*Standard for the Installation of Sprinkler Systems*” clasifica los riesgos por ocupación y por contenidos y almacenamiento.

La clasificación por ocupación, según el *International Safety Code*, se refiere al propósito para el cual la edificación, estructura o parte de ella es utilizada o se pretende utilizar [67]. Es decir, está definida por la operación del edificio en donde se evalúa área por área las diferentes operaciones con la cantidad de combustibilidad que tienen sus elementos. Teniendo en consideración la geometría, ventilación y finalmente la interacción que puede resultar de la descarga de un rociador en los elementos combustibles [68].

Clasificación por Ocupación.

La clasificación por ocupación, según el estándar NFPA 13, se divide en tres riesgos que se describen a continuación, y se resumen en la figura 2.2 [69]:

- **Riesgo Ligero.** Definido como las ocupaciones o porciones de otras ocupaciones donde la cantidad y/o combustibilidad de los contenidos es baja y donde se esperan fuego con una relativamente baja liberación de calor.

- **Riesgo Ordinario.**
 - **Ordinario Grupo 1:** Son aquellas ocupaciones o porciones de otras ocupaciones donde la cantidad o la combustibilidad es baja, la cantidad de combustible es moderada y el apilamiento de combustibles no exceden de 8 ft (2.4 m), y se espera un fuego con una liberación de calor moderada.

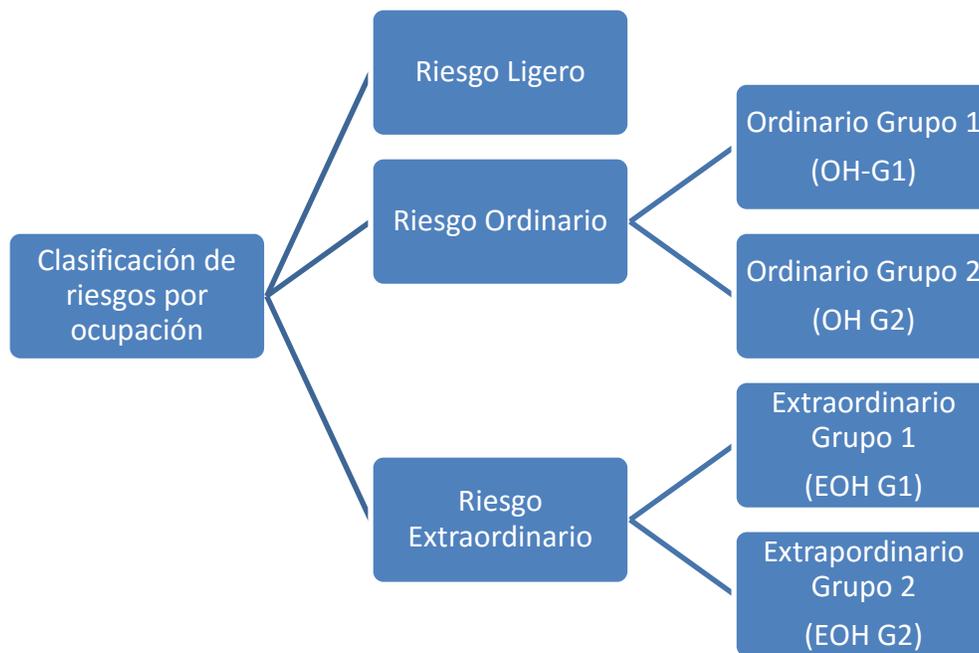
 - **Ordinario Grupo 2:** Son aquellas ocupaciones o porciones de otras ocupaciones donde la cantidad y combustibilidad de los contenidos son de moderados a altos, y el apilado de los contenedores tienen una liberación moderada de calor y no exceden de 12 ft (3.66 m), y el apilado de los contenedores con alta liberación de calor no exceden de 8 ft. (2.4 m).

- **Riesgo Extraordinario.**
 - **Extraordinario Grupo 1:** Definido como aquellas ocupaciones o porciones de otras ocupaciones donde la cantidad y combustibilidad de los contenedores son muy altas y el polvo, hilas y otros materiales están presentes, introduciendo la probabilidad de un desarrollo

rápido de fuego con altos rangos de liberación de calor pero con muy poco o ningún combustible líquido inflamable presente.

- **Extraordinario Grupo 2:** Definido como las ocupaciones o porciones de otras ocupaciones con un moderado o con cantidades sustanciales de líquido inflamable o combustible o aquellas ocupaciones donde el blindaje de combustibles es muy extenso.

El estándar NFPA 13, proporciona un listado con ejemplos de ocupación para cada uno de los riesgos. Además menciona que cualquier cambio de las características en ocupación, uso o modificaciones del lugar, deberán ser evaluadas para la selección adecuada del riesgo [69]. Los ejemplos de ocupación mencionados para cada riesgo por NFPA 13, se enlistan a continuación en la figura 2.3.



Elaboración propia

Figura 2.2. Clasificación de Riesgo por Ocupación según NFPA

Riesgo Ligero	Riesgo Ordinario Grupo 1	Riesgo Ordinario Grupo 2
<ul style="list-style-type: none"> • Albergue de animales. • Iglesias. • Clubs. • Escuelas. • Hospitales y centros veterinarios. • Instituciones. • Librerías. • Museos. • Enfermerías o centros de convalecencia. • Oficinas, incluyendo procesamiento de información. • Restaurantes en área de comensales. • Cines y auditorios, excluyendo escenarios y proscenios. • Aticos sin utilizar • Etc... 	<ul style="list-style-type: none"> • Estacionamientos y salas de exposiciones. • Panaderías. • Manufactura de bebidas. • Procesamiento y manufactura de productos lácteos. • Plantas electrónicas. • Vidrio y productos de vidrio. • Lavanderías. • Restaurante en su área de servicio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones agrícolas. • Graneros y Establos. • Molinos de cereal. • Plantas químicas ordinarias. • Plantas de confección de productos. • Destilerías. • Áreas de limpieza en seco. • Librerías con apilados altos. • Talleres de máquinas. • Trabajo metálico. • Molinos de papel y pulpa. • Planta de procesamiento de papel. • Fabricación de plástico excepto los que utilizan fluidos hidráulicos. • Oficinas de correo. • Manufactura textil. • Cúmulos de máquinas • Etc ...

Extraordinario Grupo 1	Extraordinario Grupo 2
<ul style="list-style-type: none"> • Hangares de aviones. • Áreas con uso de fluidos hidráulicos combustibles. • Fundición a presión. • Extracción de metales. • Área de pintura (tintas con flash point debajo de los 100°F). • Caucho: secado, vulcanizado, fresado. • Selección de textiles, doblado, deshilachado, empaque o desempaque, combinaciones de algodón, sintéticos, lana de mala calidad o estopa. • Tapizados con espuma plástica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Saturados de asfalto. • Sprayado de líquidos inflamables. • Revestimiento líquido. • Casas manufacturadas o edificios modulares con acabados interiores combustibles. • Enfriamiento de aceites. • Manufactura de plásticos. • Limpiadores con solventes. • Inmersión con Pintura y barniz

Fuente: NFPA 13, edición 2013.

Figura 2.3: Ejemplos de ocupación por riesgo.

Clasificación por contenidos y almacenamiento (Commodity).

Esta clasificación, es muy distinta a la clasificación por ocupación, ya que para proteger cada área, se toma en cuenta la forma de almacenaje del material o mercancía del sitio [68].

El estándar NFPA 13, define las mercancías o *Commodity*, como la combinación de productos, material de empaque y contenedores que determinan la clasificación del lugar por contenidos y almacenamiento. La clasificación por mercancía y sus requerimientos de protección deben ser determinados por la estructura de las unidades individuales de almacenaje [69].

Es esencial clasificar un lugar en base a su mercancía dada por la especificación del tipo, cantidad y arreglo de combustibles para así, definir la severidad de un fuego potencial, basado en las características de combustibilidad y de esta manera el fuego puede ser controlado con éxito por un diseño adecuado de protección con rociadores seleccionados para la clasificación adecuada del lugar [69].

En la situación de almacenaje actual, muchas condiciones de arreglos no encajan precisamente en una sola clasificación, sin embargo en este punto debe hacerse uso de un juicio después de comparar cada clasificación con las condiciones de almacenaje existentes. Los arreglos de almacenamiento consisten en miles de productos, lo cual hace imposible especificar todas las variaciones para cualquier clase. Sin embargo, NFPA, realiza un índice de clasificación de algunos productos basados en su juicio, experiencia de pérdidas y resultados de pruebas de incendio [69].

Las formas de almacenamiento a las cuales se refiere el estándar 13 de NFPA, son: las tarimas (*pallets*) de madera, metal o plástico, las racas (*racks*) y la mercancía apilada [68].

De esta manera, los riesgos por Contenido, se clasifican en siete grupos. De ellos son cuatro clases (I-IV) y tres grupos de plásticos (A,B, C). Y se definen como sigue [69]:

Clases:

- **Clase I** : Se define como aquellos productos no combustibles que se encuentran
 - Colocados directamente sobre pallets de madera.
 - Colocados en cartones corrugados de una capa, con o sin divisiones de cartón, sobre *pallets* o sin ellos.
 - Productos retractilados (envueltos) con película transparente o papel, sobre *pallets* o sin ellos.

- **Clase II**: Productos no combustibles que se encuentran en cajas de tiras de madera, en cajas solidas de madera, cartón corrugado de múltiples capas, o material combustible equivalente, sobre *pallets* o sin ellos.

- **Clase III**: Productos formados de madera, papel o fibras naturales o plásticos del grupo C con o sin cartones o cajas, con o sin *pallets*. Se permitirá en este grupo una cantidad limitada (5 por ciento o menos del peso o volumen) de plásticos grupo A o B.

- **Clase IV**: Aquellos productos con o sin *pallets*, que cumplan con los siguientes criterios:
 - Construidos parcial o totalmente por plásticos del grupo B.
 - Que contengan o fluya materiales de plásticos del grupo A.
 - Que contenga por sí mismo o este empackado en una cantidad apreciables (del 5 al 15 por ciento en peso o del 5 al 25 por ciento en volumen) por plásticos del grupo A.

Plásticos

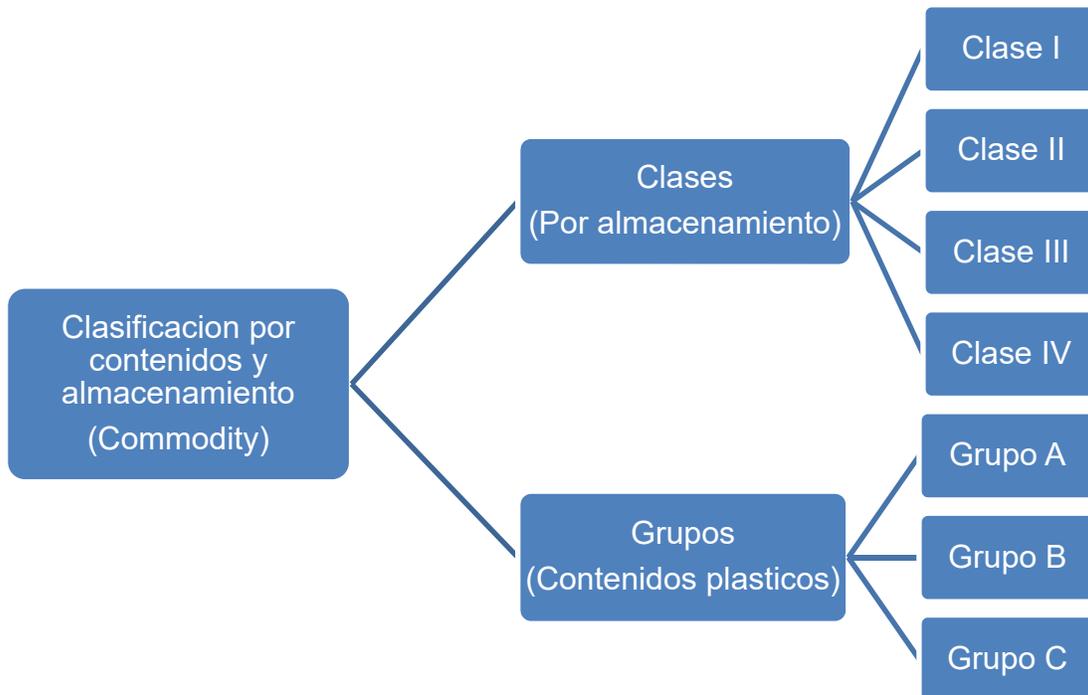
Los plásticos, elastómeros y caucho se clasifican en los grupos A, B, o C, dependiendo de sus características de combustión.

- **Grupo A:** Incluye entre otros, plásticos tales como: Plásticos ABS, material PET (poli estireno termo plástico), caucho natural (expandible), PVC con plastificado mayor al 20%, polietileno, etc.
- **Grupo B:** Material celuloso, fluoro-plásticos (ECTFE, ETFE, FEP), caucho natural (no expandible), nylon, goma de silicón, goma de cloropropeno.
- **Grupo C:** Fluoroplásticos (PCTFE y PTFE), melanina, fenólico, PVC (flexible con plastificador hasta un 20 por ciento), PVDC, Urea, entre otros.

Lo anterior puede resumirse la figura 2.4.

En la figura 2.5, se proporciona un listado de algunos ejemplos para cada clase y grupo, según lo enlistado por NFPA 13.

Al diseñar por NFPA, la selección de la ocupación o clasificación del inmueble es de suma importancia, ya que de este punto se determina el criterio de diseño apropiado y se obtienen los parámetros de flujo necesario para el combate del fuego, el número de rociadores necesario para combatir el incendio (densidad), su espaciamiento máximo, las temperaturas de operación de los rociadores, requerimiento de rociadores especiales o in-rack, así mismo se define el área hidráulica remota, la reserva de agua contra incendio y la selección de las bombas, entre otros puntos básicos de diseño.



Elaboración propia

Figura 2.4: Clasificación por contenidos y almacenamiento según NFPA

2.2.2.2 Clasificación de Riesgo por FM Global

FM Global, es una compañía aseguradora a nivel internacional, respaldada por *la Industrial Risk Insurance*, cuyo objetivo primordial es la reducción de riesgos y la protección de la propiedad. FM Global cuentan con sus propios estándares desarrollados por la misma compañía [17].

Los estándares utilizados por FM Global, suelen utilizar factores de riesgo más elevados, lo cual se traduce en un incremento en la cantidad de dispositivos, diámetros de tuberías, suministro de agua, entre otros factores [17].

Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
<ul style="list-style-type: none"> •Bebidas alcoholicas (hasta 20% de alcohol en contenedores de metal, vidrio o ceramica. •Baterias de automiviles llenas. •Botellas y jarras de vidrio. •Vidrio en carton. •Botellas PET •Comida enlatada en carton ordinario. •Bolsas de cemento. •Latas de metal vacias. •Cafe en latado y en carton. •Motores electricos •Nieve •Pinturas enlatadas en carton. Base agua (latex). •etc. 	<ul style="list-style-type: none"> •Bebidas alcoholicas hasta 20% de alcohol en contenedores de madera. •Productos horneados: galletas, pasteles. Congelados en carton. •Pescado o productos de pescado congelados, contenedores con cera o carton. •Productos farmaceuticos. Pastillas polvos. En vidrio en carton, liquidos no flamables. •Filmes fotograficos en latas de metal, en bolsas de polietileno en cajas de carton. •Libros, revistas, arreglos solidos sobre pallets. •Etc. 	<ul style="list-style-type: none"> •Aerosoles. •PProductos horneados empacados en carton. •Pan envuelto en plastico, en carton. •Mantequilla batida. •Dulces empacados. •Cartones corrugados apilados sin ensamblar •Cereales empacados. •Quesos. Empacados en carton. •Goma de mascar. Empacada en carton. •Chocolate empacado y en cartones. •Ropa de fibra natural. •Productos de cocoa. •Granos de cafe en bolsa. •Productos de tabaco. •Papel en rollos. En racas de peso medio o pesado. •Etc. 	<ul style="list-style-type: none"> •Carton corrugado parcialmente ensamblado. •Ropa sintetica. •Pañales desechables sin tejer (en carton). •Aisalantes de fibra de vidrio. Rollos de papel, en bolsa, sin empacar. •Muebles de madera cubiertos de plastico. •Cerillos de papel empacados y en carton. •Pintura de uñas de 1 a dos onzas en vidrio. En cartones. •Pinturas de aceite en lata. En cartones. •Rollos de papel peso ligero. En racks. •Pisos de vinil (tiles) en carton. •Productos de madera (estampados). •Etc.

Grupo A
<ul style="list-style-type: none"> •Baterias de camiones o mas grandes. Vacias o llenas. •Velas en cartones. Tratados como plasticos expandibles. •Pañales desechables con plasticos, sin carton, envueltos en plastico. •Cartones con cubierta de cera, de pared sencilla. •Muebles de madera con esponja de foam. •Lamparas de butano. •Margarina entre el 50 y 80% de aceite sin empacar. •Cerillos de madera, empacados y en carton. •Colchones de foam ya terminados. •Pintura de uñas en botes de plastico, en carton. •Etc.

Fuente: NFPA 13, edición 2013.

Figura 2.5 Ejemplos de la clasificación por *commodity*.

La importancia de mencionar el tipo de clasificación de riesgo propuesta por FM Global, radica en el hecho de que diversas compañías establecidas en México y en general a nivel internacional siguen este tipo de estándares.

Fm Global, clasifica el riesgo en edificaciones como [70]:

- **Ocupación sin almacenamiento** (*Nonstorage Type Occupancy*): Se define como la ocupación del inmueble que cuenta con material combustible o no combustible que no se encuentra dispuesto como almacenamiento, dividido en HC-1, HC-2 y HC-3, dependiendo de la ocupación y actividades desempeñadas en el área [71].

- **Ocupación tipo almacén** (*Storage-Type Occupancy*): Es la zona que contiene materiales combustibles o no combustibles que se mantienen en una configuración de almacenamiento que cubre una superficie superior a 200 ft² (18.5m²) y tiene una altura superior a 5 ft. (1.5m) con riesgos asociados al plástico o peor (líquidos inflamables, gases inflamables, rollos de papel, neumáticos de caucho, etc.) o que tiene una altura superior a 10 ft (3m) en el caso de mercancías de celulosa o de contenido menos peligroso. La disposición de almacenaje de mercancías, se refiere a la manera en que el material se mantiene. Los arreglos de almacenaje típicos, incluyen principalmente pilas sólidas de material, tarimas, estantes, compartimientos en cajas, unidades de estantería móvil, racas fijas de almacenamiento y racas portátiles.

Para la clasificación de riesgo de almacenamiento, FM Global considera la evaluación detenida del material interno, su estructura exterior y finalmente la estructura sobre la cual se encuentra almacenado, es decir, toma en cuenta todo aquel material que pudiera estar en contacto con el fuego en caso de incendio, tal como lo muestra la figura 2.6 [72].



Fuente: Ficha Técnica de FMDS 3-26

Figura 2.6. Componentes de una mercancía almacenada por FM Global

La clasificación de riesgo tipo almacenamiento, se divide de menor a mayor riesgo de incendio como sigue [72]:

- Material No combustible.
 - Material que no arde. Estos materiales no requieren por si mismos protección con rociadores.

La protección con rociadores son requeridas en las instalaciones que contengan materiales combustibles en la construcción, en su ocupación o en los procesos de manejo de material. Si la ocupación y construcción son no combustibles, la protección contra incendio debería ser considerada para cambios futuros en el almacenamiento, ocupación del lugar o construcción.

- Clase 1.
 - Materiales no combustibles sobre madera o tarimas aprobadas por FM.
 - Materiales no combustibles empacados en cajas de cartón corrugado de capa sencilla con o sin divisiones delgadas, o envueltos en papel ordinario, sobre tarimas de madera o tarimas aprobadas por FM.

Esta clase, puede contener una cantidad despreciable de molduras de plástico tales como perillas o manijas.

- Clase 2.
 - Materiales no combustibles o almacenajes tipo clase 1, en cajas de cartón corrugada de varias capas, contenedores de listas de madera, cajas solidas de madera o material de embalaje combustible, sobre tarimas de madera o aprobadas por FM.
- Clase 3.
 - Materiales de celulosa, tales como madera, papel o textiles naturales sobre tarimas de madera o aprobadas por FM. Los productos pueden o no estar almacenados en cajas de cartón.
 - Clases 1, 2 y 3 de materiales que contengan no más del 5% de plástico (expandible, no expandible o la combinación de ambos), ya sea por peso o volumen.
- Clase 4/*Cartoned unexpanded plastic (CUP)*.
 - Cuando el total del peso o volumen de plástico no expandible es mayor al 5% por cada carga en una tarima.
 - El total del volumen de plástico expandible (plástico *foam*) va del 5 al 40% por cada carga en una tarima.

- El total del volumen de plástico expandible es mayor al 5% y hasta el 10% cuando está expuesto o localizado como recubrimiento del material almacenado (protección o envoltura del material).
- *Cartoned expanded plastic (CEP).*
 - El total del volumen de plástico expandible (*foam*) es mayor al 40%.
 - El total del volumen de plástico expandible es mayor al 10% y está expuesto o ubicado como recubrimiento del material almacenado (protección o envoltura del material).
 - Contenedores vacíos de plástico con capacidad mayor a 0.26 gal (1 L) y no se encuentren anidados.
- *Uncartoned unexpanded plastic (UUP).*
- *Uncartoned expanded plastic (UEP).*

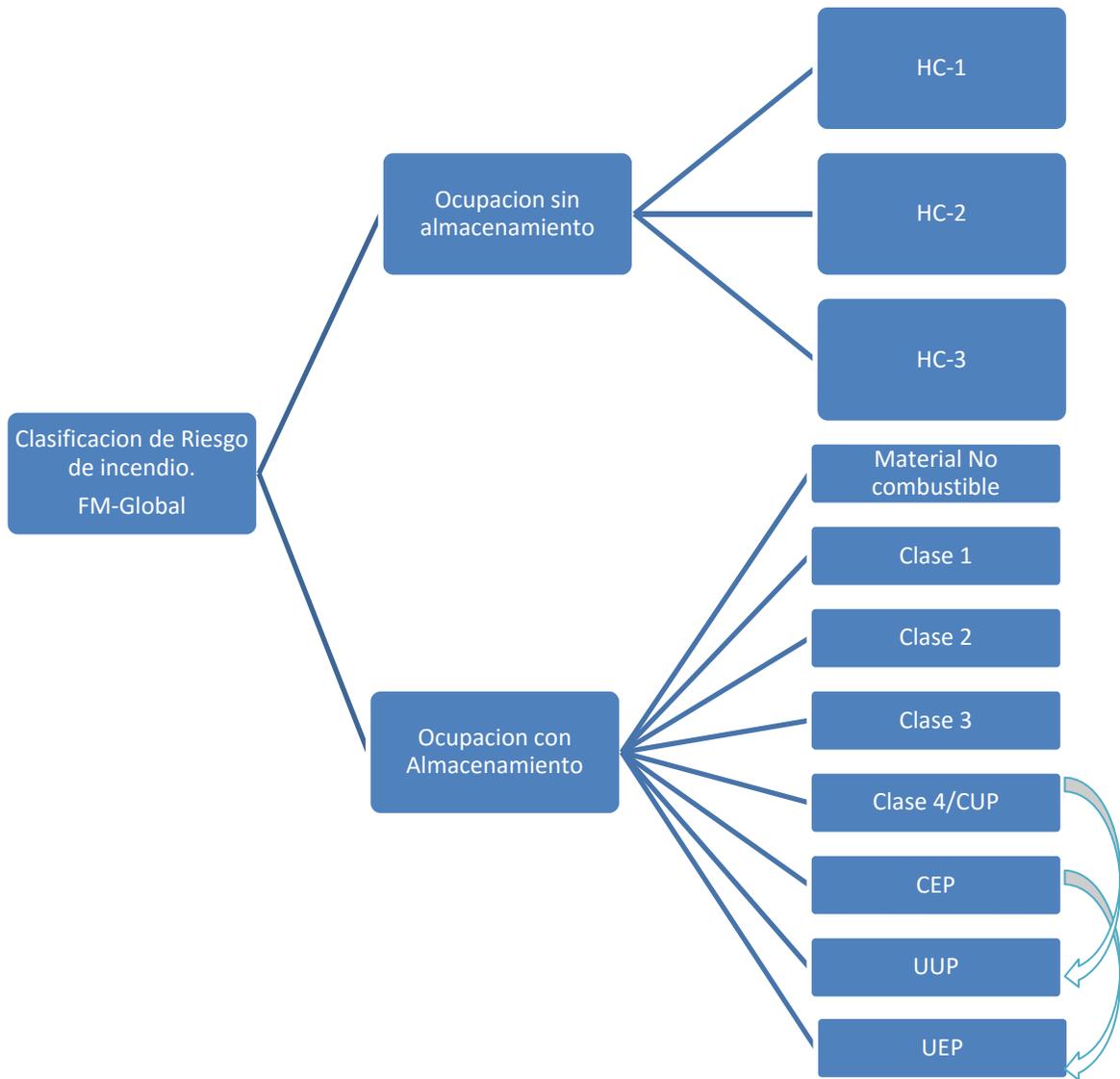
Las últimas dos clasificaciones dependerán si la clase 4 (CUP) y la clase CEP, están o no en cartón, respectivamente.

El empaque externo del material, determina el crecimiento del fuego. Por ejemplo, las cajas de cartón corrugado, absorbe el agua proporcionada del rociador lo que puede contribuir a reducir la propagación del fuego, y por otro lado el cartón se quema fácil y rápidamente. Así mismo, los contenedores metálicos pueden disminuir el grado de la clasificación de riesgo de fuego de un producto, siempre y cuando los contenedores tengan tapa metálica y se encuentren cerrados [72].

La clase de riesgo de fuego puede incrementar un nivel, según el estándar de FM. Esto será cuando la tarima sobre la que se encuentre el producto sea de plástico y no esté aprobada por FM [72].

En resumen, FM Global, basa su clasificación de riesgo de incendio en las condiciones de almacenamiento del lugar, tal como se muestra en la tabla 2.7

Clasificación de riesgo de incendio según FM-Global. Y en la figura 2.8, se enlistan algunos ejemplos de la ocupación con almacenamiento [72].



Elaboración propia.

Figura 2.7. Clasificación de riesgo de incendio según FM-Global.

<p>Material No Combustible</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bobinas de calefaccion electrica. • Accesorios metalicos que no incluyan piezas combustibles (estufas, lavadores, secadoras) • Espejos. • Sartenes y jarras de metal. • Botellas o jarras de vidrio vacias. • Fruta fresca y vegetales. • Gabinetes de metal. • Partes metalicas. • Botellas y jarras de vidrio llenas con liquidos no flamables. • Motores, electricos carcasa metalica. • Etc. 	<p>Clase 1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baterias, pila seca (no litio o iones de litio), sin encartonar. • Cerveza y vino (vol de alcohol 20% o menos) considerado no combustible, almacinado en contenedores de plastico de 19 L o menos. • Pintura de agua, almacenados en latas metalicas. • Carne, masa, sin encartonar. • Escritorios metalicos, con cubierta y molduras de plastico. • Contenedores de metal cerrados que contengan material plastico. • Etc. 	<p>Clase 2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baterias, pila seca (no litio o iones de litio), en carton. • Aisante de fibra dr ividrio, rollos de papel horneado, con o sin bolsa. • Software de computadora encartonado y empaquetado (incluido manuales de usuario, discos en envolturas), sin empaque de plastico. • Carne congelada en bandejas de plastico, con o sin encartonar. • Comida para mascota seca en bolsas de papel de plastico laminadas. • Carne fresca, en carton sin plastico. • Libros, con o sin carton. • Etc. 	<p>Clase 3</p> <ul style="list-style-type: none"> • Accesorios con interiores de plasticos (por ejemplo refrigeradores). • Tablero de circuitos con recubrimiento de cobre. • Cereales o productos alimenticios combustibles almacenados en carton. • Goma de mascar, con o sin encartonar. • Muebles de madera (puertas, marcos, ventanas, gabinetes, sillas, mesas, etc.). • Productos de tabaco en cajas de carton. • MAterial de almidon para empacar. • Productos de celulosa almacenados en carton (platos de carton, tazas, servilletas). • Etc.
<p>Clase 4/CUP <i>Cartoned unexpanded plastic</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Paneles o puertas de metal aislados con Poliuretano, que está expuesto, o el espesor del metal es menor calibre 24. • Cajas de carton para beber (recubrimiento plastico, encerado, y/o forrado de aluminio). • Huevos almacenados en contenedores de polietireno expandido (PE) y en carton. • Comida para botana (por ejemplo papas fritas), en bolsas de aluminio plastificadas, en carton. • Hojas de papel Kraft, de polietileno laminado. • Etc. 	<p>CEP <i>Cartoned expanded plastic</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Barril vacio moldeado de poliuretano/acero inoxidable,. • Aislante de espuma de polietileno para tuberia. • Contenedores plasticos vacios, no colapsado, solido o cuadrulado, mayores a 32 oz (1 L). • Platos de foam de poliestireno, tazas, etc. • Colchones de foam. • Envoltura de burbujas. • Plastico corrugado. • Toallas con suavizante de ropa, con recubrimiento encerado. • Crayones de cera. • Parafina. • Etc. 	<p>UUP <i>Uncartoned unexpanded plastic</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Tablero de poliisocianurato, Clase 1 material de cubierta. Con o sin encartonar. • Contenedores de plastico, cuadrulado o solidos, colapsados. • Comida no congelada, producto fresco, en bulto, almacenado en contenedores de plastico con capacidad mayor a 5 gal. • Mineral impregnado de Carbon, con y sin encartonar. • Botellas de vidrio o jarrones vacios o llenos con liquidos no combustibles, almacenados en contenedores solidos de plastico. 	<p>UEP <i>Uncartoned expanded plastic</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Botellas de plastico (incluido material PET), vacio, almacenado en contenedores de plastico, cuadrulado o solidos, cualquier volumen. • Contenedores de plastico solidos o cuadrulado, almacenados bajo las caracteristicas que correspondan a esta clasificacion. • Registros para Chimeneas, impregnado con liquidos combustibles o ceras, encartonados o no. • Lajas u hojas finas de madera, cubiertas de cera, con o sin carton. • Etc

Fuente: Ficha Técnica FMDS 8-1.

Figura 2.8 Ejemplos por ocupación con almacenamiento.

2.2.2.3 Clasificación de Riesgo en México.

Norma Oficial Mexicana.

La norma oficial mexicana NOM-002-STPS-2010 “Condiciones de seguridad Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo”, señala que la clasificación de riesgo de incendio para los centros de trabajo, se dividen en Ordinario y Alto. Lo cual dependerá de factores tales como:

- Dimensiones de las áreas a proteger o superficie construida.
- Materiales almacenados.

Para determinar el riesgo de incendio de un lugar, la NOM-002-STPS-2010, proporciona una tabla de clasificación y un procedimiento básico para determinar el riesgo del total de materiales almacenados, tal como lo muestra la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Determinación de riesgo de incendio

Concepto	Riesgo de Incendio	
	Ordinario	Alto
Superficie construida, en metros cuadrados	Menor de 3000	Igual o mayor de 3000
Inventario de gases inflamables, en litros.	Menor de 3000	Igual o mayor de 3000
Inventario de líquidos inflamables en litros.	Menor de 1400	Igual o mayor de 1400
Inventario de líquidos combustibles, en litros	Menor de 2000	Igual o mayor de 2000
Inventario de sólidos combustibles, incluido el mobiliario del centro de trabajo en kilogramos.	Menor de 15000	Igual o mayor de 15000
Materiales pirofóricos y explosivos en kilogramos	No aplica	Cualquier cantidad

Según esta norma, se podrá determinar la protección contra incendio por áreas, siempre y cuando estas estén delimitadas por barreras o materiales contra fuego o espaciamiento suficiente para evitar la propagación del fuego.

El procedimiento que marca esta norma, consiste en determinar la superficie construida y realizar un inventario de tipo y cantidad de materiales combustibles almacenados. Incluyendo material de oficina y mobiliario, el cual se considera 60Kg por persona que labora de manera fija en el centro de trabajo, es decir, se excluyen repartidores, mensajeros, choferes, entre otros.

Las fórmulas utilizadas en este procedimiento, son aplicables cuando se cuentan con dos o más sustancias combustibles almacenadas en un solo lugar.

La siguiente fórmula muestra como determinar el riesgo de incendio debido a la cantidad de materiales combustibles almacenados, según lo establecido por la NOM-002-stps-2010 [45]:

Ec.2.1

$$\left(\frac{\text{Inventario 1}}{\text{Cantidad 1}}\right) + \left(\frac{\text{Inventario 2}}{\text{Cantidad 2}}\right) + \left(\frac{\text{Inventario 3}}{\text{Cantidad 3}}\right) + \left(\frac{\text{Inventario 4}}{\text{Cantidad 4}}\right)$$

La sumatoria de los inventarios, arrojará un número el cual indicará si el área corresponde un riesgo Ordinario o Alto, donde el parámetro será el siguiente:

Ordinario: Los centros de trabajo con superficie construida menor de tres mil metros cuadrados y que obtengan un resultado menor a UNO, con motivo de la aplicación de la ecuación 2.1.

Alto: Los centros de trabajo con superficie construida igual o mayor de tres mil metros cuadrados, así como los centros de trabajo con cualquier superficie

construida y/o que obtengan un resultado igual o mayor a UNO, con motivo de la aplicación de la ecuación 2.1.

Por otra parte, se menciona también que no es necesaria realizar la clasificación de riesgo de incendio de aquellas áreas que no están destinadas para almacenamiento de sustancias, y que por un periodo temporal (no mayor a 7 días), se utilicen para este fin.

La norma establece la necesidad de realizar una evaluación anual e inventario de los materiales almacenados para asegurar que el riesgo de incendio debido a materiales combustibles no ha cambiado.

Norma Técnica Complementaria para el Diseño Arquitectónico.

Dentro de la normativa mexicana, existen normas y reglamentos que a pesar de ser aplicables para el Distrito Federal, suelen ser material base para revisión y consulta en construcción, instalación y diseño para el resto del país.

La norma Técnica complementaria para el diseño arquitectónico, forma parte del Reglamento de Construcción del Distrito Federal. En cuanto a protección contra fuego, esta norma considera la clasificación de riesgo de incendio para edificaciones no habitacionales y la clasificación de riesgo de incendio para vivienda, tomando en cuenta el número de ocupantes, además de la superficie de construcción y el almacenamiento de material combustible e inflamable.

La tabla 2.3 y 2.4, muestran las clasificaciones de riesgo según lo indicado por la Norma Técnica Complementaria para el Diseño Arquitectónico [65]

Tabla 2.3 Grado de Riesgo para Edificaciones No habitacionales según la NTC.

Concepto	Grado de Riesgo para Edificaciones No Habitacionales		
	Bajo	Medio	Alto
Altura de la Edificación (en metros).	Hasta 25	No Aplica	Mayor de 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 3000	Mayor de 3000
Inventario de gases inflamables (en litros).	Menor de 500	Entre 500 y 3000	Mayor de 3000
Inventario de líquidos inflamables (en litros).	Menor de 250	Entre 250 y 1000	Mayor de 1000
Inventario de líquidos combustibles (en litros).	Menor de 500	Entre 500 y 2000	Mayor de 2000
Inventario de sólidos combustibles (en kilogramos).	Menor de 1000	Entre 1000 y 5000	Mayor de 5000
Inventario de materiales pirofóricos y explosivos.	No existen	No existen	Cualquier cantidad

Según lo indicado por esta norma, la clasificación para un inmueble se determinara por el grado de riesgo de incendio más alto que se tenga en cualquiera de los edificios, áreas o zonas que existan en un mismo predio.

En un inmueble que presenta zonas con diversos grados de riesgo, los dispositivos o medidas de previsión y control deben aplicarse en cada zona de acuerdo a sus características constructivas y al elemento que genera el riesgo [65].

Tabla 2.4 Grado de Riesgo para Edificaciones con Vivienda según la NTC.

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 de uso no habitacional		

Así mismo, la norma considera que en caso de haber una zona con grado de riesgo alto, esta deberá aislarse de las zonas con grado bajo o medio, y en caso de no haber delimitación entre estas áreas, todo deberá protegerse como lo indique el riesgo más alto.

En cuanto a la población, deberá tomarse el número probable más alto de población fija más la flotante en cada área o zona físicamente delimitada para la propagación del fuego [65].

Al realizar la clasificación del inmueble, se obtendrá el grado de riesgo, y con ello la forma de proteger la edificación según lo indicado por la NTC, tal como lo muestra la tabla 2.5.

Las normas y estándares antes mencionados, difieren en la manera de realizar una clasificación de un inmueble, sin embargo, todas ellas coinciden en que la clasificación de riesgo de incendio, es el primer paso para determinar la adecuada protección contra fuego para las áreas analizadas.

Tabla 2.5 Dispositivos para prevenir y combatir incendios, según la NTC.

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 80.00 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 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 sonoro con activación automática. Excepto vivienda.	Dos sistemas independientes de alarma, no 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, toma siamesa 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.

2.3 SISTEMAS CONTRA INCENDIO

2.3.1 Clasificación de sistemas para el combate de incendios.

Un sistema de protección contra incendios es el conjunto de medidas que se disponen en edificaciones, fábricas, construcciones, y todo tipo de entidades para protegerlos contra la acción del fuego. Generalmente, con ellas se trata de conseguir tres fines [73]:

- Salvar vidas humanas
- Minimizar las pérdidas económicas producidas por el fuego.
- Conseguir que las actividades de las empresas puedan reanudarse en el plazo de tiempo más corto posible.

Además, pudiera agregarse, según la NFPA [56]:

- Protección ambiental
- Conservación del patrimonio histórico.

Este tipo de sistemas, incluyen dispositivos, soportería, equipos y controles para detectar fuego o humo a través de una señal, de esta manera se alerta al personal y ayuda evitar la propagación del fuego e incluso suprimirlo [74].

Los sistemas desarrollados para el combate de incendio, se definen a continuación [73]:

- **Sistemas de detección y alarma.** Los sistemas de detección y alarma tienen por objeto descubrir rápidamente el incendio y transmitir la noticia para iniciar la extinción y evacuación [73]. Se necesita la detección del incendio para que se inicie la extinción automática o manual, se active cualquier otro sistema de protección

contra incendios (ej., puertas contra incendio automáticas para compartimentación y protección de las rutas de escape), y los ocupantes tengan tiempo para trasladarse a lugares seguros, generalmente fuera del edificio. Se deben diseñar sistemáticamente provisiones de detección que reflejen las otras características del edificio, sus ocupantes, y las otras medidas de protección contra incendios. Por ejemplo, el humo es con frecuencia el primer indicador de un incendio, así que es lógico un sistema automático de detección basado en detectores de humo. En ciertas instalaciones o Áreas, sin embargo, pueden ser más apropiados los detectores basados en el calor o régimen de aumento del calor debido a los tipos de incendios que pueden ocurrir en esas áreas o debido al potencial en esas áreas de activaciones que no sean por incendio [56].

- **Sistemas de rociadores automáticos.** Los sistemas de rociadores automáticos desempeñan simultáneamente dos funciones con idéntica eficacia: detección y extinción de incendios. Los sistemas se activarán automáticamente para controlar el fuego. El tiempo de vida útil de los rociadores automáticos depende en gran medida de las condiciones ambientales a las que se encuentren sometidos [73].

Es un sistema que consiste en una red integrada de tuberías diseñada de acuerdo con estándares de ingeniería contra incendio que incluye una fuente de suministro de agua, una válvula de control, una alarma de flujo y un drenado y es generalmente activado por el calor del fuego descargando agua sobre el área de incendio. La porción del sistema de rociadores aéreos es una red de tuberías especialmente dimensionada o hidráulicamente diseñada la cual se encuentra instalada en un edificio, estructura o área, generalmente

en cubiertas y en la cual los rociadores están unidos en un patrón sistemático [69].

- **Sistemas con hidrantes.** Los sistemas con hidrantes son equipos que suministran gran cantidad de agua en poco tiempo, se conecta y forma parte íntegramente de la red de agua específica de protección contra incendios del establecimiento a proteger, permite la conexión de mangueras y equipos de lucha contra incendios. El agua puede obtenerla de la red urbana de abastecimiento o de un depósito, mediante una bomba [73].

La NFPA, define este sistema como un arreglo de tuberías, válvulas, conexiones de mangueras, y equipo adicional instalado en un edificio o estructura, con las conexiones de mangueras localizadas de tal manera que el agua pueda ser descargada en un patrón de flujo o *spray* a través boquillas unidas a la manguera, con el propósito de extinguir el fuego, proteger a los ocupantes, así como proteger el edificio o la estructura y su contenido [75].

- **Sistemas con extintores.** Son los dispositivos de control de incendios más utilizados a nivel no profesional, por su conveniencia, costo y disponibilidad. Los extintores como dispositivos de control tienen como base la acción del agente extintor que contiene atacando uno de los cuatro elementos del tetraedro de fuego. Es decir realiza la extinción por reducción de temperatura, eliminación de oxígeno, combustible, inhibición de la reacción en cadena.

En México, más que una clasificación por sistemas, es una clasificación por equipo contra incendio, los cuales según la NOM-002-STPS-2010, es el aparato o dispositivo, automático o manual, instalado y disponible para controlar y combatir incendios, los cuales se clasifican de la siguiente manera [45]:

a) Por su tipo en:

- 1) **Portátiles:** Son aquellos que están diseñados para ser transportados y operados manualmente, con un peso total menor o igual a 20 kilogramos, y que contienen un agente extintor, el cual puede expelerse bajo presión con el fin de combatir o extinguir un fuego incipiente;
- 2) **Móviles:** Son aquellos que están diseñados para ser transportados sobre ruedas, sin locomoción propia, con un peso superior a 20 kilogramos, y que contienen un agente extintor, el cual puede expelerse bajo presión con el fin de combatir o extinguir un fuego incipiente, y
- 3) **Fijos:** Son aquellos instalados de manera permanente y que pueden ser de operación manual, semiautomática o automática, con agentes extintores acordes con la clase de fuego que se pretenda combatir. Estos incluyen los sistemas de extinción manual a base de agua (mangueras); los sistemas de rociadores automáticos; los sistemas de aspersores; los monitores; los cañones, y los sistemas de espuma, entre otros.

b) Por el agente extintor que contienen, entre otros:

- 1) **Agente extintor químico húmedo:** Son aquellos que se utilizan para extinguir fuegos tipo A, B, C o K, y que normalmente consisten en una solución acuosa de sales orgánicas o inorgánicas, o una combinación de éstas, y
- 2) **Agentes extintores especiales:** Son productos que se utilizan para apagar fuegos clase D.

Dentro de los sistemas contra incendio, los denominados **sistemas de supresión**, se refieren a aquellos sistemas cuya finalidad es la extinción del fuego por medio de agua. De esta manera tenemos que:

Supresión de fuego: Es la acción de reducir drásticamente la velocidad de liberación de calor de un incendio y la prevención de su crecimiento por medio de la aplicación directa y suficiente de agua a la superficie del combustible ardiendo a través del penacho de fuego [69].

Dentro de esta clasificación se encuentran los sistemas de rociadores, hidrantes y mangueras.

2.3.2 Importancia del Diseño de Sistemas Contra Incendio.

El diseño de un sistema contra incendio para una edificación, deberá realizarse preferentemente por un ingeniero especialista en el área de protección contra incendio, esto, para garantizar ante todo la eficacia y eficiencia del sistema contra incendio, a un mínimo costo y cumpliendo con las normas y reglamentos vigentes.

El sobre diseño de un sistema especializado contra incendio, es común cuando se desconoce los lineamientos adecuados para proteger un inmueble. Se tiende a sobredimensionar los equipos de bombeo, los sistemas de abastecimiento, las tuberías y accesorios, así como la cantidad y espaciamiento de rociadores, mangueras y extintores, en el afán de garantizar que el sistema funcione “oportunamente”. Sin embargo, todo esto se traduce en costos excesivos e innecesarios para el cliente o dueño del edificio. La garantía de un sistema contra incendio parte del diseño racional basado en las necesidades de los ocupantes, en la normativa vigente y en la correcta instalación del equipo y los dispositivos.

Otro problema a considerar cuando existe un desconocimiento de la normativa y estándares que regulan la protección contra incendio, es que los diseñadores de edificios crean riesgos innecesarios, con frecuencia sin saberlo, para los ocupantes de los edificios o por otra parte, dichos riesgos, son el

resultado de una mala interpretación de sintetizar y analizar un programa integrado de protección contra incendios [56].

Es por esto que los manuales de protección contra incendio y la reglamentación internacional mencionan que el diseño de un sistema contra incendio, deberá realizarse por profesionales del área. Incluso la norma mexicana NOM-002-STPS-2010, en su apartado V.3 “Uso de los sistemas fijos contra incendio del tipo de rociadores automáticos y otros alternativos”, inciso C, recomienda que “Quien diseñe, instale o proporcione mantenimiento a este tipo de sistema, debe ser una persona con conocimientos y experiencia reconocidos, o calificado con base en la normatividad aplicable a dicho sistema”.

La diferencia entre la recomendación de la norma mexicana y la reglamentación internacional como la NFPA, es la obligatoriedad en la experiencia, capacitación y conocimientos del ingeniero diseñador e instalador de sistemas contra incendio. Sin embargo, según la AMRACI, México se encuentra actualmente reevaluando la normativa en este aspecto y promoviendo la capacitación y profesionalización de técnicos e ingenieros en este tema.

Como lo señala la NFPA en su Manual de protección contra incendio, existe información disponible para que los profesionales del diseño incorporen mejor protección contra incendios en sus proyectos. El uso de esta información requiere que los diferentes miembros del equipo de diseño reconozcan que los aspectos de incendio son un elemento inherente a sus responsabilidades como diseñadores. Esto requiere un conocimiento de las cargas especiales que produce el fuego en los elementos de la construcción y de las medidas preventivas que se pueden incorporar en los diseños.

El diseño de cualquier sistema contra incendio es una ciencia exacta que toma en cuenta el uso del edificio, su ocupación, su distribución y aun si tiene

algún otro sistema instalado. Los sistemas de protección contra incendio son complicados y sofisticados y son distintos para cada edificio [10].

El problema de la protección contra incendios en los edificios es abrumador tanto por el número de variables como por la dificultad subsecuente en la obtención de información detallada. El enfoque establecido de códigos de especificaciones y normas tiene limitaciones para muchas estructuras modernas y para antiguos edificios de importancia histórica. Una aproximación para esta situación es el enfoque a sistemas. En su sentido más amplio, el enfoque o análisis de sistemas es sencillamente el estudio metódico de la entidad como un todo [56].

La protección contra incendios se puede incorporar en el diseño de edificios usando tres métodos diferentes [10]:

1. Exigir que el diseño y construcción se ajusten a los requisitos prescritos en las especificaciones de los códigos y normas de construcción. Estos requisitos están basados en experiencias de incendios y son generalmente estrictos.
2. Usar códigos basados en desempeño para superar la inflexibilidad de los códigos de especificación. Una limitación actual de la protección contra incendios basada en el desempeño es que este es un proceso de evaluación, no un proceso de diseño. Una vez que se ha formulado el diseño, se pueden usar las medidas de desempeño para evaluar la protección contra incendios pero el enfoque no ofrece una guía directa sobre cómo desarrollar conceptos de diseño.
3. Usar un enfoque sistemático que muestre como se pueden usar diferentes estrategias de protección para cumplir los objetivos de protección contra incendios. Se puede diseñar los edificios con un enfoque sistemático y evaluarse luego utilizando ya sea el criterio prescrito o el de desempeño, o una mezcla de ambos. Este enfoque de la protección contra incendios puede requerir un alto nivel de destreza profesional; sin embargo, permite

mayor flexibilidad y puede obtenerse un gran beneficio en reducción de costos.

Planear un sistema de protección contra incendio, involucra un enfoque integral en el cual los diseñadores del sistema necesitan analizar los componentes del edificio como un todo. En la mayoría de los casos, este análisis deberá ir más allá del cumplimiento de los códigos básicos y las responsabilidades legales mínimos de los propietarios para proporcionar protección. El proceso de diseño de un sistema contra incendio, debe involucrar al dueño del edificio y el gerente, arquitectos, ingenieros, contratistas y consultores, todos deberán ser parte del proceso de diseño y entender completamente las cuestiones y dudas de los demás [10].

El proceso consciente de diseño de protección contra incendios para los edificios debe ser integrado dentro del proyecto arquitectónico total para que sea eficiente y económico. Todos los miembros de los grupos tradicionales de diseño de edificios deberían incorporar el diseño de elementos para emergencias de incendio como parte integral de su trabajo. Cuanto más temprano se establezcan los objetivos de protección contra incendio en el proceso de diseño, se identifiquen métodos alternativos para alcanzar estos objetivos, y se tomen las decisiones en el proyecto de ingeniería, más eficientes y económicos serán los resultados finales [56].

2.3.2.1 Bases Filosóficas para un Eficiente Sistema de Protección contra Incendios

Como diseñadores o ingenieros, muchas ocasiones pasamos por alto, lineamientos básicos que nos ayudan a determinar el éxito de un proyecto.

En el caso del profesional de la ingeniería de protección contra incendio, como diseñador o encargado de la instalación de un sistema de protección contra

incendio, es necesario conocer esta serie de conceptos básicos, que darán la pauta para el desarrollo de un proyecto eficiente [5].

- Un sistema de protección es tan bueno como la gente que lo opera y lo mantiene.
- Buenos equipos no hacen buenos sistemas, pero buenos sistemas requieren buenos equipos.
- El sobre-diseño de un sistema es tan malo como el bajo o sub-diseño. El sub-diseño es crítico y puede ser catastrófico, el sobre-diseño es costoso, ineficiente y puede no ofrecer la protección adecuada.
- Un sistema contra incendios más grande no se convierte en uno mejor.
- Una excelente ingeniería de detalle no significa un buen sistema. Puede solo resultar en un mal sistema bien instalado.
- Una buena ingeniería básica depende de una buena ingeniería conceptual.
- La ingeniería conceptual, llamada también en la nomenclatura NFPA con el Documento de Intención de Diseño, debe obtenerse del Plan Maestro de Seguridad contra incendios de la instalación.
- La calidad de una ingeniería conceptual depende de la excelencia técnica y de la experiencia del diseñador.
- La ingeniería de detalle no agrega, ni quita, ni modifica nada de la ingeniería conceptual ni de la básica. Solo pudiera restringir la libre participación de todos los actores en una licitación.
- En protección contra incendios no se acostumbra el desarrollo de una ingeniería de detalle. Lo convencional es salir a licitar con la ingeniería básica, y el ganador de la instalación elabora planos de taller antes de instalarlos, similar a la ingeniería de detalle, los cuales son aprobados por el ingeniero de protección contra incendios antes de su instalación. Al finalizar, el instalador debe entregar "Planos As-Built" o "Planos Como Construido".
- Un buen sistema se diseña con base en la cultura existente en la planta.

- Un sistema no se diseña primero y luego se escoge el personal que lo puede manejar. Primero se evalúa la calidad del personal y luego se diseña un sistema para ellos.
- Un diseño debe ser tan simple, tan sencillo como lo exija el personal que lo atiende. Debe ser flexible para que posteriormente se sofisticue, y/o se automatice cuando crece la calidad del personal.
- El automatismo solo es bueno cuando la gente es culta y académicamente preparada. El automatismo no funciona cuando el personal a cargo no lo entiende.
- El automatismo demanda el mejor mantenimiento.
- Todo sistema automático debe incluir la posibilidad de operarlo manualmente, en un sitio accesible en caso de incendio.
- Una planta petroquímica, química, o de alto riesgo no se distribuye (en su Plot Plan) por facilidad en el proceso; se diseña pensando primero en el riesgo de incendio y explosión.
- Al ubicar elementos que deben ser operados durante un incendio se debe seguir el viejo adagio: "Ni tan cerca que queme al santo ni tan lejos que no lo alumbre".
- Cuando inspeccione una planta, imagínese la incendiada. Los problemas logísticos, de evacuación y de acceso serán evidentes y también será evidente la deficiente o la mala ubicación de elementos que deben operarse o moverse durante un incendio.
- Trate de no usar su intuición y tenga, siempre, disciplina normativa.

2.3.2.2 Ingeniería de Protección contra Incendio.

La ingeniería de protección contra incendios es una ingeniería joven, con un increíble desarrollo tecnológico el cual ha permitido que ingenieros de protección contra incendios utilicen actualmente programas de modelaje y formulas

empíricas, como herramientas diarias de trabajo. No solo programas de cálculo hidráulico, sino programas aún más sofisticados que permiten calcular la producción y desarrollo del humo en un incendio, el proceso de evaluación de personas en un edificio, la resistencia al fuego de una estructura, el diseño de estructuras industriales teniendo en cuenta el impacto de la radiación en una instalación vecina, o que permiten determinar cuándo (en segundos luego del inicio del incendio) se operara un sistema de detección o de rociadores automáticos. Los incendios han sido una parte importante en el desarrollo de la civilización. Sin embargo, la utilidad del fuego no es parte de la ingeniería de protección contra incendios. Al contrario, en la ingeniería de protección contra incendios se tiene en cuenta la fuerza destructora del fuego, la cual debe ser controlada para que nuestro mundo pueda continuar progresando. Durante muchos años este trabajo estaba circunscrito en las brigadas contra incendios, pero básicamente en el último siglo han sido los ingenieros de protección contra incendios los que han puesto su empeño, conocimiento y pericia en el control del fuego destructivo [56].

Según la NFPA, la ingeniería de protección contra incendios, se define como la ciencia encargada de reducir la pérdida de vidas y propiedades debido al fuego, incluyendo la prevención y la extinción del fuego por medios públicos o privados. Además, se denomina así, al grado al cual se aplica dicha protección.

El departamento de Ingeniería de protección contra incendio de la Universidad de Maryland señala además que a través del uso de los fundamentos de ingeniería, investigación y análisis de incendios, el Ingeniero de Protección contra Incendios evalúa el problema enfrentado y formula una solución que no sólo es funcional, sino económicamente factible y practicable. Así mismo, el ingeniero de protección contra incendio deberá ser competente utilizando los procedimientos más actualizados en el análisis y el diseño de técnicas, incluidos los modelos computacionales para la predicción del fuego [76].

En Latinoamérica es frecuente encontrar sistemas de protección sobre-diseñados, por ingenieros y técnicos que tratan de aplicar sentido común o intuición no educada, y que o no usan normas de diseño e instalación o que solo las emplean parcialmente para buscar una densidad de aplicación, una velocidad o un tiempo, y no aprovechan todas las equivalencias, las opciones que tienen esos documentos. A través de refinación con el correr de los años, con el flujo creciente de resultados de pruebas de laboratorio, de análisis de los incendios ya ocurridos y de evaluación a través de programas de simulación han hecho de las normas de diseño, instalación y prueba de sistemas contra incendios de la NFPA una sorprendente fuente con soluciones a la mayoría de los problemas del mundo moderno [5].

2.3.2.3 Diseño Basado en Desempeño (*Performance-Based Design*).

El concepto de diseño de protección contra incendio basado en el desempeño es tan antiguo como la ingeniería de protección contra incendios, data de mediado de 1800 cuando se crean los primeros sistemas de rociadores. Estos sistemas contra incendio, fueron evolucionando en base al funcionamiento de los sistemas reflejado ante los incendios, es de esta manera como a partir de la observación y experiencias adquiridas se fueron realizando modificaciones para ajustar los parámetros de diseño de los sistemas e implementarlos de manera funcional y efectiva a edificaciones particulares [56].

Sin embargo, el concepto actual de “Diseño basado en Desempeño”, surge en Estados Unidos en la década de 1970s, con el fin de considerar alternativas a los diseños prescriptivos con el objetivo de obtener un ambiente en el edificio tan seguro como uno que hubiese sido diseñado de acuerdo a la regulación. Este nuevo concepto emergió en otros países como Inglaterra y Australia en 1980s y 1990s, como Ingeniería de protección contra incendio [77].

La Guía SFPE de Ingeniería de Análisis y Diseño de Protección de Edificios contra Incendios Basada en el Desempeño, define el diseño basado en el desempeño como sigue:

El método de ingeniería de diseño de protección contra incendios basado en:

1. Metas y objetivos de protección contra incendios establecidos;
2. Análisis determinista y probabilista de escenarios de incendio; y
3. Evaluación cuantitativa de alternativas de diseño contra las metas y objetivos de protección contra incendios que usan herramientas, metodologías y criterio de desempeño aceptados.

En la actualidad, el análisis y diseño de las condiciones de seguridad contra incendios en edificios se puede hacer casi exclusivamente utilizando criterios basados en desempeño o eficacia (*performance-based design*). Esta metodología utiliza un enfoque por objetivos a la hora de diseñar y valorar la seguridad contra incendios en un edificio [56]. En décadas recientes, son mayores los sistemas de regulación para edificación alrededor del mundo, que permiten o requieren un diseño basado en desempeño para protección contra incendio, en vez de seguir rigurosamente las prescripciones de un código [77].

Las características que diferencian el diseño prescriptivo de protección contra incendio y el Diseño basado en Desempeño, es que este último [56]:

- Está fundamentado en la especificación de criterios de desempeño con significado cuantitativo y físico que se pueden usar para evaluar el cumplimiento de metas y objetivos de protección contra incendios.
- Se basa en análisis de la dinámica de escenarios de incendio esperados.
- Considera la evaluación cuantitativa de escenarios de incendio usando herramientas y metodologías técnicas, que típicamente incluyen algún tipo de modelo de incendio de recintos cerrados.

El Diseño de protección contra incendio basado en Desempeño, ha sido utilizado en casos que involucran a los interesados (generalmente el dueño del edificio y los arquitectos) buscando el diseño de una edificación que se encuentra fuera de los parámetros de la regulación. Aquellos edificios con arquitectura única, condiciones de ocupación y requerimientos especiales para materiales[78] tales como bodegas, rascacielos, edificios con espacios largos y abiertos, ambientes de edificación complejos como estaciones de tránsito subterráneo, terminales de aeropuertos e inclusive edificios dentro de edificios, todos ellos son los mejores candidatos para utilizar un diseño de protección contra incendio basado en desempeño, pues las regulaciones prescriptivas cuentan con ciertas dificultades para considerar soluciones genéricas para edificaciones particulares [77].

La Guía SFPE de Ingeniería de Análisis y Diseño de Protección de Edificios contra Incendios Basada en el Desempeño, reseña una serie de etapas precisas llegar a un modelo basado en el desempeño, las cuales inician con la definición del alcance del proyecto, identificación de metas, definición de objetivos tanto de los interesados como del diseño, el desarrollo de criterios de desempeño y escenarios de incendio, desarrollo de diseños de prueba y su evaluación. Todo esto implica la realización del reporte del proyecto de ingeniería de protección contra incendios, reporte del diseño basado en desempeño, preparación de la información para la elaboración de planos, especificaciones, manuales de operación y mantenimiento [56].

El proyecto de un edificio, implica la participación de distintos grupos interesados, incluyendo contratistas, dueños y usuarios, arquitectos, ingenieros mecánicos, ingenieros de protección contra incendio y autoridades, quienes aprobarán la construcción y el uso del proyecto. Estos grupos están involucrados en distintas etapas del proyecto y bajo diferentes tareas y mandatos. El desarrollo general del edificio dependerá de las interrelaciones entre los distintos componentes de la edificación tales como los sistemas estructurales, climáticos, componentes utilizados para situaciones de emergencia y muchos componentes a

cargo de ingenierías específicas [77]. Muchas ocasiones, la firma de ingeniería o el proyectista en México, es solo un eslabón de esta cadena que es el Diseño contra incendio basado en desempeño.

Es importante mencionar que el diseño basado en desempeño, ha permitido introducir nuevas tecnologías al campo contra incendio y mejorar las condiciones de demanda en los sistemas, lo que resulta en instalaciones más económicas mientras se provee una mejora en la protección contra incendio [78].

La NFPA cuenta con un proceso estricto para incluir en sus códigos, nuevos descubrimientos realizados ya sea por experiencias o la observación en incendios reales de fracasos o éxitos en determinadas edificaciones, dando pie a la actualización de códigos aproximadamente cada tres años. Mientras que FM Global, debido a que cuenta con laboratorios especializados provoca sus propias pruebas, lo que resulta en la actualización constante de sus Fichas Técnicas.

Sin embargo, aunque es una metodología de punta, según la NFPA sería poco apropiada para nuestro entorno técnico en Latinoamérica, porque, de acuerdo a la "Guía de Ingeniería SFPE de Protección contra Incendios Basada en la Eficacia", publicada por CEPREVEN, NFPA y la SFPE, ésta metodología se dirige exclusivamente a ingenieros de protección contra incendios competentes, que tengan conocimientos de dinámica del fuego, que tengan experiencia en los principios científicos y métodos prescriptivos de protección contra incendios. Es decir ingenieros de protección contra incendios cualificados por su formación, aprendizaje y experiencia. Requiere también un proceso de diseño en equipo, donde varios ingenieros de incendios, con diversas competencias, participan en el proceso de análisis y diseño. Es decir, su aplicación debe estar circunscrita a las grandes firmas de ingeniería de protección contra incendios [56].

2.4 SISTEMA AUTOMATICO DE ROCIADORES CONTRA INCENDIO

2.4.1 Definición y Generalidades

Durante cerca de ciento cincuenta años, los rociadores automáticos han sido el sistema individual más importante para el control automático de incendios hostiles en edificios. Muchas características estéticas y funcionales deseables de los edificios que podrían afectar la seguridad contra incendios debido al potencial de riesgo de crecimiento del incendio pueden protegerse con la instalación de un sistema de rociadores debidamente diseñado [56].

Los principios fundamentales y suposiciones sobre los sistemas de rociadores han permanecido bastante consistentes a lo largo del último siglo. Sin embargo, en los últimos 30 años se ha presentado un desarrollo muy significativo en cuanto al desempeño y la efectividad de los sistemas de rociadores para brindar seguridad humana y protección de la propiedad [5].

El sistema de rociadores automáticos ha sido el método de extinción automática de incendios más usado. Entre las ventajas de los rociadores automáticos está el hecho de que estos funcionan directamente encima del incendio y no son afectados por el humo, gases tóxicos y visibilidad reducida. Adicionalmente se usa mucha menos agua porque solamente aquellos rociadores activados por el calor del incendio funcionan, especialmente si el edificio tiene compartimientos. Los principales elementos para determinar la eficacia de un sistema de rociadores automáticos son (1) su presencia o ausencia; (2) si los hay, su confiabilidad; y (3) si son confiables, su diseño y eficacia en la extinción [56].

La NFPA 13, define el rociador automático como un elemento de control o supresión de fuego que opera de forma automática cuando su elemento termo

sensible, es calentado hasta su punto térmico o sobre él, permitiendo la descarga de agua sobre un área específica.

Un sistema automático de rociadores contra incendio, es un sistema de supresión a base de agua, que consiste en una red integrada de tuberías diseñada de acuerdo con los estándares de ingeniería de protección contra incendio, que incluye una fuente de abastecimiento de agua, válvulas de control de agua, una alarma de flujo y un drenado y es comúnmente activado por el calor del fuego, descargando agua sobre el fuego de un área. La porción de tuberías del sistema de rociadores aéreo es una red especialmente dimensionada o hidráulicamente calculada instalada en un edificio, estructura o área donde los rociadores se encuentran generalmente unidos a un patrón sistemático [69].

Los sistema automático de rociadores contra incendio, se componen de diversos elementos que deberán ser seleccionados cuidadosamente de acuerdo a la distribución y características del lugar, así como de los elementos y las áreas a proteger. Es importante además, conocer la reglamentación vigente y definir bajo que normativa se desarrollará el proyecto.

De forma muy general, el funcionamiento de un sistema de rociadores automáticos, inicia en una fuente de abastecimiento de agua, calculada para garantizar la suficiencia del agente extintor en caso de incendio durante un determinado periodo. El sistema de bombeo, el cual deberá estar listado para fines contra incendio, succiona el agua desde la fuente de abastecimiento distribuyéndola por la red de tuberías instaladas en el edificio a una presión definida. Mientras el sistema de rociadores no se encuentre activo, las tuberías se mantendrán siempre presurizadas y con agua.

Considerando que los rociadores más comunes son los que poseen un bulbo de vidrio que contiene un líquido termo-sensible en su interior, diseñado para destruirse a temperaturas predeterminadas. Cuando el calor de un fuego actúa sobre el rociador, el líquido hierve y el vapor ejerce presión sobre el vidrio, que se rompe y libera el tapón. Entonces el agua, a presión y contenida en la red

de tuberías contra incendios, se descarga en forma automática y se vierte sobre un deflector que la pulveriza, formando un chorro de agua nebulizada que puede extinguir el fuego justo en la zona donde éste se ha iniciado. Este proceso puede tomar unos segundos o varios minutos, dependiendo de la tasa de liberación de calor circundante al rociador, de la distancia entre el rociador y el techo y entre el rociador y el piso, de la inclinación del techo y de muchos otros factores que ya han sido ampliamente estudiados por la NFPA, Underwriters Laboratories (UL), FM, entre otros organismos de investigación [54]. El sistema de alarmas se activa cuando se detecta una caída de presión en el sistema de tuberías, indicador de que se encuentra activado uno o varios rociadores.

Los sistemas apropiadamente diseñados, instalados y mantenidos son un elemento clave para muchos planes de protección contra incendios integrantes en el diseño y construcción de edificios modernos. La supresión, la detección y la compartimentalización son elementos clave de seguridad que permiten que los edificios con cierta altura o área sean construidos. Un buen entendimiento de lo que los sistemas de rociadores pueden y no pueden hacer por aquellos que diseñan, instalan y aprueban dichos sistemas es de vital importancia para la efectividad total del sistema [5].

A continuación, se proporcionará una breve descripción de los elementos involucrados en un sistema automático de rociadores, así como los requerimientos básicos en base a la NFPA, FM y la norma mexicana.

2.4.2 Suministro de Agua

El agua es el agente principal utilizado para extinguir los incendios de edificios y es aún el principal agente extintor del cuerpo de bomberos, en consecuencia, el diseñador del edificio debe anticipar las necesidades tanto del departamento de bomberos como de los sistemas de extinción automática y asegurarse de la provisión de un suministro de agua con presión residual suficiente. Los edificios que no tengan una fuente de agua adecuada y confiable

para el combate de incendios deben proveer agua suplementaria o incorporar otras medidas de defensa contra incendios para compensar esta deficiencia [56].

En un sentido amplio, las instalaciones de almacenamiento de agua y suministros de succión incluyen todos los cuerpos de agua disponibles como fuentes de suministro, ya sean contenidos en tanques fabricados o en barreras naturales. Los tanques de almacenamiento elevados o a nivel del suelo de metal, madera o tela encauchada son ejemplos de instalaciones fabricadas; los ríos, estanques, lagos y puertos u otras fuentes de agua de superficie son ejemplos de facilidades naturales de almacenamiento.

La NFPA 13, edición 2013, en su capítulo 24 “Abastecimiento de Agua”, permite el uso de tanques a presión, de gravedad, suministros naturales de agua y tanques a nivel de suelo o debajo de él, y cualquier fuente de abastecimiento de agua que cumpla con lo señalado por la edición vigente del NFPA 22 “*Standard for Water Tanks for Private Fire Protection*”, que se abastezca de una fuente aprobada y que satisfaga los requerimientos de suministro para el sistema de diseño más remoto, incluyendo el uso de mangueras contra incendio, si aplica [69].

Por su parte, FM Global considera como tanques de almacenamiento de agua para protección contra incendio a los tanques de gravedad, de succión por bomba, presión y los denominados “*break tanks*”, contruidos de acero, madera o concreto [79]. Así mismo, permite el uso de otro tipo de fuentes de abastecimiento tales como tanques de tela apoyados en terraplén y embalses de tierra bordeada. Estos tipos de tanques son aprobados por FM, para su disposición, uso, descripción y requerimientos es indispensable estudiar detenidamente las fichas técnicas correspondientes.

Con la llegada de sistemas hidráulicos de rociadores, el uso de tanques de succión a nivel del suelo combinado con bombas de incendio ha aumentado. Sin embargo, a pesar de haber decaído su uso todavía hay muchos tanques por

gravidad elevados en funcionamiento solamente para servicio de protección contra incendios y estos requieren altas normas de mantenimiento para que conserven su confiabilidad como fuentes para los sistemas [5]. Así mismo, el uso de agua proveniente de fuentes naturales, requieren un tratamiento especial debido a los sedimentos, lodo e impurezas que en un momento dado, pudieran obstruir el funcionamiento del sistema automático de rociadores [69].

Es importante mencionar que tanto NFPA 13, como NFPA 22, señalan que, cuando la fuente principal de abastecimiento de agua pública no cumpla con las condiciones de calidad, cantidad o presión, para sistemas contra incendio, se deberá proveer una fuente adicional de agua. En México a diferencia de otros países como en Estados Unidos, la presión de servicio del sistema de agua potable, no es suficiente para operar un sistema contra incendio, es por ello que es común el uso de fuentes de suministro de agua combinadas con bombas de succión.

De esta manera, la reglamentación mexicana sugiere que se disponga de un suministro de agua exclusivo para el servicio contra incendios, independiente al que se utilice para servicios generales [45]. Mientras que la Norma Técnica Complementaria, señala que para las redes de rociadores, se instalen tanques o cisternas para almacenar agua en un volumen adicional a la reserva para la red de hidrantes [65]. El reglamento local de bomberos de la ciudad de Mexicali, al respecto indica que se deberá instalar un depósito para almacenamiento del agua necesaria para suministrar el caudal contra incendios requerido [80].

Como se puede observar, la normativa mexicana, hace hincapié en el uso de fuentes alternas e independientes de suministro de agua, para sistemas contra incendio.

Por este motivo, el desarrollo de este punto, tratara exclusivamente de los tanques a nivel de suelo y cisternas, que funcionan como fuente de abastecimiento para sistemas de rociadores automáticos contra incendio.

2.4.2.1 Ubicación

El tanque debe estar construido de manera que no esté sometido a exposición de incendios de edificios adyacentes o de los almacenamientos del patio. Si no es posible por falta de espacio en el patio, la armazón expuesta de acero debe estar protegida con construcción o cubierta resistente al fuego, por un mínimo de dos horas según NFPA 22. La protección del acero, cuando sea necesaria, debe incluir construcción de acero a 6 metros (20 pies) de distancia de edificios o aberturas combustibles desde los cuales podría salir fuego [5], [79].

Los tanques de succión deben estar situados de manera que requieran la menor cantidad posible de tubería de patio. La caseta de la bomba generalmente se sitúa cerca de los tanques para reducir al mínimo la tubería de succión [5].

FM Global, menciona que la ubicación del tanque será determinada principalmente por las condiciones locales del lugar [79].

2.4.2.2 Capacidad de los tanques.

La elección del tanque de almacenamiento se determina por la capacidad y presión requeridas para los chorros de mangueras y rociadores por la duración posible de un incendio, pero debido al aumento de estipulaciones actuales, el tanque de succión y la bomba son más económicos que el tanque por gravedad o un tanque por gravedad y bomba de refuerzo. La capacidad requerida se determina por el uso previsto el tanque y se especifica en la cantidad de galones o metros cúbicos en el tanque [5].

La NFPA 22, señala que la capacidad neta del tanque de succión será dada por el número de galones (metros cúbicos) entre la entrada de la boquilla de sobre flujo hasta el nivel de la placa vórtex.

Por su parte, la NOM-002-STPS-2010, sugiere que la capacidad de la fuente de abastecimiento de agua, se determine basado en lo siguiente [45]:

Prever un abastecimiento de agua de al menos dos horas, a un flujo de 946 l/min, o definirse de acuerdo con:

- El riesgo por proteger;
- El área construida;
- Una dotación de cinco litros por cada metro cuadrado de construcción, y
- Un almacenamiento mínimo de 20 metros cúbicos en la cisterna.

La Norma Técnica Complementaria para el Diseño Arquitectónico del Distrito Federal señala que para el dimensionamiento del tanque o cisterna deberán cumplir las siguientes características [65]:

- Tanques o cisternas para almacenar agua en un volumen adicional a la reserva para la red de hidrantes en función al gasto nominal del 10% del total de los hidrantes instalados en un nivel, que garantice un periodo de funcionamiento mínimo de una hora. (Esto punto se refiere a la red de Mangueras contra incendio).

Finalmente, de manera local, el Reglamento de Prevención de Incendios de la ciudad de Mexicali B.C., indica que para mangueras contra incendio [80]:

- El depósito para almacenamiento del agua necesaria para suministrar el caudal contra incendios requerido, durante un tiempo de treinta minutos a dos horas de acuerdo al riesgo del incendio.

Sin embargo, a pesar de que se menciona la instalación de un sistema de rociadores, no se proporcionan los parámetros técnicos para el dimensionamiento del tanque, ni la cantidad de agua necesaria adicional si se procede a la instalación de un sistema de aspersores.

El estándar NFPA 13, señala que los requerimientos de demanda mínima de agua para un sistema automático de rociadores, será determinada por la adición del flujo de mangueras y la demanda de agua de los rociadores, durante un periodo definido [69], como se observa en la tabla 2.6 “Requerimiento de Duración para Demanda de agua y suministro de gabinetes para Sistemas Hidráulicamente Calculados”, obtenidos de la tabla 11.2.3.1.2 de NFPA 13 edición 2016 [9].

El capítulo 6 de la NFPA 22, menciona que la capacidad estándar del tanque varía con el número de paneles adicionados al diámetro, y el rango va de los 4.000 galones hasta los 500.000 galones de capacidad neta. Aunque se permiten tanques de otras capacidades [81].

Por su parte FM Global, difiere en la selección y la duración de flujo para mangueras destinados a propiedades de no-almacenamiento, pues intervienen otros factores, tales como la altura de cubierta, como se observa en la tabla 2.7 [71].

De esta manera, fabricantes de tanques, cuentan con una amplia gama de contenedores ya prefabricados, listos para ensamblar en sitio. En sus respectivas fichas técnicas, pueden observarse el galonaje y dimensiones estándar que manejan. Así mismo las especificaciones de recubrimiento, ensamble, pintura, accesorios, limpieza y propiedades específicas de construcción pueden consultarse en los estándares NFPA 13 y 22 y en la ficha técnica de FM Global FMDS-3-2 “Water Tank for Fire Protection”.

Tabla 2.6 Requerimiento de Duración para Demanda de agua y suministro de gabinetes para Sistemas Hidráulicamente Calculados”.

Ocupación	Total de gabinetes				Duración (minutos)
	Gabinetes interiores		incluyendo interiores y exteriores		
	gpm	L/min	gpm	L/min	
Riesgo Ligero	0.5 o 100	0.190 o 380	100	380	30
Riesgo Ordinario	0.5 o 100	0.190 o 380	250	950	60-90
Riesgo Extra Ordinario	0.5 o 100	0.190 o 380	500	1900	90-120

Tabla 2.7 Demanda de Agua para Gabinetes y su Duración

Categoría de Riesgo	Demanda para Gabinetes, gpm (L/min)		Duración, min
	Cubiertas por debajo de los 60 ft (18 m)	Cubiertas arriba de los 60 ft (18 m)	
HC- 1	250 (950)	500 (1900)	60
HC- 2	250 (950)	500 (1900)	60
HC- 3	500 (1900)	500 (1900)	90

La resistencia a los sismos es sumamente importante en la construcción y ensamble de la fuente para el suministro de agua. De esta manera, tanto NFPA, como FM Global proporcionan requerimientos mínimos para zonas sísmicas y recomiendan que los planos de construcción sean evaluados por un estructurista calificado. Los detalles y especificaciones para erigir tanques en zonas sísmicas, están definidas en las normas NFPA 22 y la ficha técnica FM Global FMDS-3-2 “*Water Tank for Fire Protection*”.

2.4.3 Sistema de Bombeo

2.4.3.1 Bomba Contra Incendio

Una bomba contra incendio es un componente esencial del sistema de protección contra incendio y se refiere a una bomba destinada al abastecimiento de un sistema de protección contra incendios, que funciona a un caudal nominal y a una presión específicos [82]. Así mismo, la bomba deberá estar listada para este uso, es decir, el equipo de bombeo deberá seleccionarse basados en las condiciones para instalación y uso exclusivo contra incendio [83].

A diferencia de las bombas de uso comercial, las cuales son elegidas por su eficiencia y economía máximas, las bombas contra incendio están diseñadas para proveer confiabilidad máxima y características de descarga de cabezal neta específica. Excepto para inspecciones y pruebas periódicas, las bombas contra incendio están ociosas la mayoría del tiempo [5].

La función de las bombas contra incendios es la de suministrar de manera ininterrumpida la presión y el caudal requeridos de los sistemas de protección contra incendios, sin embargo es importante mencionar que de ninguna manera la bomba contra incendio aumentara la cantidad de flujo en el sistema. Es por ello que las bombas deben ofrecer, un alto grado de fiabilidad [82].

El sistema de bombeo, debe ser instalado adecuadamente y deberán programarse labores periódicas de mantenimiento y prueba. La falla del sistema de bombeo durante un siniestro puede resultar en grandes pérdidas humanas y materiales [82].

Las bombas contra incendios están diseñadas para arrancarse de forma automática tras una caída de la presión en el sistema de protección contra incendios o mediante cualquier otro método automático de detección de incendios y son de paro manual [5],[82]. Durante la operación de la bomba en un incendio (o durante las pruebas de mantenimiento), se requiere de personal capacitado que

acuda al lugar donde se encuentre la bomba, esto, para supervisar el funcionamiento adecuado de la bomba contra incendio [83].

Actualmente, la bomba utilizada para fines contra incendio, es centrífuga ya que proporciona gran solidez, confiabilidad, fácil mantenimiento y características hidráulicas y variedad de impulsores disponibles. Una de las características más sobresalientes de este tipo de bombas es la relación de presión de descarga a velocidad constante, esto es, cuando la cabeza de presión es incrementada, la descarga es reducida. Y pueden encontrarse bombas horizontales o verticales [5]. El estándar de la NFPA, aplica en bombas contra incendio centrífugas, *single-stage* o *multi-stage*, desplazamiento positivo y ejes vertical y horizontal [83].

2.4.3.2 Capacidad y Características Técnicas de la Bomba Contra Incendio.

Capacidad

Actualmente, la industria proporciona una gran cantidad de bombas contra incendio con capacidades que van de los 25 gpm a los 5000 gpm. Tal como lo muestra la tabla 2.8, para capacidades mayores a los 5000 gpm, NFPA indica que deberán ser sujetas a revisión individual por las autoridades competentes o mediante pruebas de laboratorio [83].

Tabla 2.8 “Capacidades de Bombas Centrífugas contra incendio”

gpm	L/min	gpm	L/min	gpm	L/min
25	95	400	1514	2000	7570
50	189	450	1703	2500	9462
100	379	500	1892	3000	11355
150	568	750	2839	3500	13247
200	757	1000	3785	4000	15140
250	946	1250	4731	4500	17032
300	1136	1500	5677	5000	18925

La capacidad de la bomba contra incendio para un sistema automático de rociadores en condiciones de no almacenamiento, está dada por la siguiente ecuación:

$$FP = (D)x(Ar) + \text{Flujo de Gabinetes} \quad \text{Ec.2.1}$$

Dónde:

FP = Capacidad de la bomba en gpm

D = Densidad, en gpm/ft²

Ar = Área de operación de Rociadores, en ft²

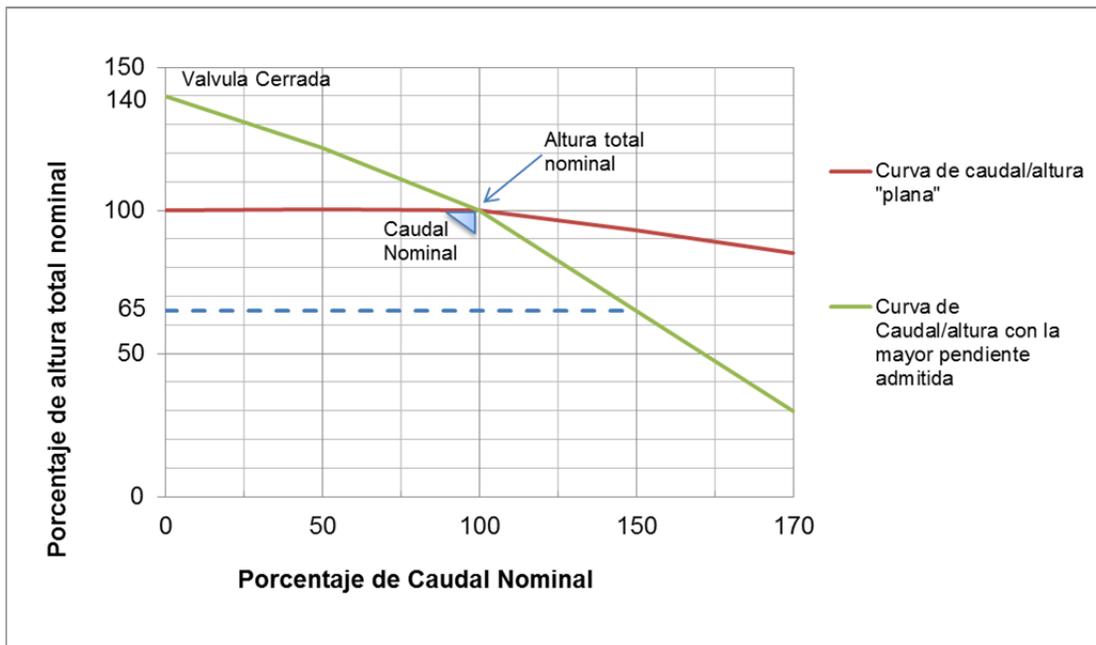
Flujo de Gabinetes = en gpm

Tanto FM-Global, como NFPA 20, señalan que las bombas contra incendio deben proporcionar a 150 % de su caudal nominal, una presión mínima de 65 % de la presión nominal de la bomba. Y la presión total en condiciones de caudal cero, deberá ser no mayor al 140% de la presión nominal de la bomba [82], [83]. Las curvas características de la bomba, serán proporcionadas por el fabricante.

La NOM-002, sugiere que se cuente con un sistema de bombeo que tenga como mínimo dos fuentes de energía que pueden ser eléctrica, diésel, tanque elevado, o una combinación de ellas automatizadas y que mantengan la presión indicada de 7 kg/cm² en toda la red, que se conserve durante el funcionamiento de cierto número de mangueras o rociadores de acuerdo a las especificaciones del fabricante o instalador [45].

2.4.3.3 Tuberías y componentes de Succión y Descarga.

La tubería de succión se refiere a la tubería que va desde el tanque o fuente de suministro de agua hasta la brida de la bomba. La tubería de descarga es aquella que inicia en la brida de descarga de la bomba hasta la válvula de descarga al sistema [83].



Fuente: Ficha Técnica FMDS 3-7

Figura 2.9. Curvas características de las bombas.

El dimensionamiento de la tubería de succión, deberá ser tal, que la velocidad en el tramo no sea mayor a 15 ft/s, cuando la bomba opere al 150% de su caudal nominal [82].

Un sistema de bombeo contra incendio, se compone de diversos accesorios, válvulas y elementos, los cuales deben cumplir con una dimensión mínima en base a la capacidad nominal de la bomba contra incendio. La tabla 2.9 muestra un resumen de los diámetros mínimos de los componentes, según la tabla 4.27 (a) y (b) de NFPA 20, edición 2016.

La instalación y ubicación de los accesorios, válvulas, fluxómetros y componentes en las tuberías de succión y descarga pueden ser consultadas en los estándares de NFPA 20 y la ficha técnica de FM 3-7.

2.4.3.4 Bomba Jockey

La bomba jockey o bomba de mantenimiento de presión, es una bomba diseñada para mantener la presión en un sistema de protección contra incendio con límites programados cuando en el sistema no está fluyendo agua o se encuentra en “*stand by*”, y puede no ser listada, sin embargo debe ser aprobada [35].

Las bombas contra incendios no deben utilizarse para mantener los niveles de presión en el sistema de protección contra incendios, debido a que el arranque y paro constante de la bomba contra incendio, reduce significativamente la vida útil de esta. Dicha función la desempeña la válvula de mantenimiento de presión (bomba jockey) [34] [36].

La bomba jockey debe ser dimensionada para permitir pérdidas de presión debida a goteo o caída normal de la presión del sistema, considerando que la presión de descarga debe ser suficiente para mantener la presión deseada del sistema contra incendio. La capacidad de la bomba no debe ser menor que cualquier promedio de fuga normal, debido a que por sí misma, la bomba jockey no funciona como una bomba contra incendio, por ejemplo, si se rompe un rociador [35], [36].

La NFPA, no proporciona información exacta para dimensionar una bomba jockey, sin embargo, algunos fabricantes, como Armstrong, recomiendan como regla general dimensionar la bomba jockey como el 1% de la capacidad de la bomba principal, así mismo, y deberá contar con un presión de 10 psi superior a la presión de diseño [36].

La NOM-002-STPS-2010, en la guía V, inciso g), únicamente señala que la red hidráulica cuente con un sistema de bomba jockey para mantener una presión constante [2].

Tabla 2.9 Diámetros mínimos para componentes en sistema de bombeo contra incendio [83].

Capacidad de la Bomba		Succión		Descarga		Valvula de alivio		Descarga Valvula de alivio		Flujometro		Numero y Diametro de valvulas de manguera		Suministro a cabezal		
gpm	L/min	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	Numero	in.	mm	in.	mm
25	95	1	25	1	25	3/4	19	1	25	1/4	32	1	1 1/2	38	1	25
50	189	1 1/2	38	1 1/4	32	1 1/4	32	1 1/2	38	2	50	1	1 1/2	38	1 1/2	38
100	379	2	50	2	50	1 1/2	38	2	50	2 1/2	65	1	2 1/2	65	2 1/2	65
150	568	2 1/2	65	2 1/2	65	2	50	2 1/2	65	3	75	1	2 1/2	65	2 1/2	65
200	757	3	75	3	75	2	50	2 1/2	65	3	75	1	2 1/2	65	2 1/2	65
250	946	3 1/2	85	3	75	2	50	2 1/2	65	3 1/2	85	1	2 1/2	65	3	75
300	1,136.00	4	100	4	100	2 1/2	65	3 1/2	85	3 1/2	85	1	2 1/2	65	3	75
400	1,514.00	4	100	4	100	3	75	5	125	4	100	2	2 1/2	65	4	100
450	1,703.00	5	125	5	125	3	75	5	125	4	100	2	2 1/2	65	4	100
500	1,892.00	5	125	5	125	3	75	5	125	5	125	2	2 1/2	65	4	100
750	2,839.00	6	150	6	150	4	100	6	150	5	125	3	2 1/2	65	6	150
1000	3,785.00	8	200	6	150	4	100	8	200	6	150	4	2 1/2	65	6	150
1250	4,731.00	8	200	8	200	6	150	8	200	6	150	6	2 1/2	65	8	200
1500	5,677.00	8	200	8	200	6	150	8	200	8	200	6	2 1/2	65	8	200
2000	7,570.00	10	250	10	250	6	150	10	250	8	200	6	2 1/2	65	8	200
2500	9,462.00	10	250	10	250	6	200	10	250	8	200	8	2 1/2	65	10	250
3000	11,355.00	12	300	12	300	8	200	12	300	8	200	12	2 1/2	65	10	250
3500	13,247.00	12	300	12	300	8	200	12	300	10	250	12	2 1/2	65	12	300
4000	15,140.00	14	350	12	300	8	200	14	350	10	250	16	2 1/2	65	12	300
4500	17,032.00	16	400	14	350	8	200	14	350	10	250	16	2 1/2	65	12	300
5000	18,925.00	16	400	14	350	8	200	14	350	10	250	20	2 1/2	65	12	300

2.4.3.5 Cuarto de bombas

FM global, proporciona lineamientos para la construcción, ubicación, configuración y protección de un cuarto para equipo de bombeo contra incendio [34]. Algunos de los cuales, se mencionan a continuación.

La ubicación de la caseta de bombas debe ser tal que sea posible distribuir correctamente las tuberías y limitar la longitud de las mismas. Deberá otorgarse prioridad a la tubería de succión.

La bomba, deberá ubicarse en un edificio independiente de construcción incombustible y separado, como mínimo, 15 m (50 ft) con respecto a los edificios protegidos.

Si no es posible colocar el cuarto de bombas independiente de la construcción, entonces se deberá ubicar la sala de bombas de forma que se evite la exposición a riesgos de incendio y de caídas de escombros o cualquier otro riesgo que pudiera dañar la bomba o los cables del suministro eléctrico, o bien impedir al operador de la bomba permanecer cerca de la misma durante un incendio.

Habilitar una puerta de acceso a la sala de bombas en un muro exterior del edificio, proteger la bomba contra incendios de las demás zonas del edificio mediante muros con una resistencia al fuego de 2 horas. En caso de que la sala de bombas y las zonas contiguas cuenten con sistemas de protección por rociadores automáticos, puede utilizarse una construcción con una resistencia al fuego de 1 hora. Y evitar ubicar la sala de bombas dentro de un edificio sin protección o adosada a este.

Proteja frente a posibles daños mecánicos todo el cableado de control de la sala de bombas que sea susceptible de sufrir averías. Para ello, utilice conductos metálicos acoplados al techo o a las paredes de la sala de bombas.

El cuarto de bombas no debe utilizarse como almacén, y deberá contar con un sistema automático de rociadores para proteger las bombas, así mismo debe instalarse un sistema de drenaje, ventilación e iluminación de manera que los manómetros e instrumentos puedan leerse con facilidad.

Con el fin de reducir el riesgo de inundación, deberá asegurarse de que el suelo de la caseta de bombas se encuentra al mismo nivel o por encima del nivel del suelo de las zonas circundantes. Sitúe la bomba por encima del nivel correspondiente a una inundación con período de retorno de 500 años.

Es necesario proteger la bomba contra incendios, el motor y el controlador frente a posibles puestas fuera de servicio como consecuencia de una explosión, incendio, inundación, seísmo, tormenta, helada, daños causados por roedores, insectos, actos vandálicos o cualquier otra situación de riesgo.

2.4.4 Toma Siamesa

2.4.4.1 Definición

El estándar NFPA 24 y FM Global, definen la Toma Siamesa o FDC (*Fire Department Connection*), como una conexión mediante la cual el departamento de bomberos puede introducir mediante bombeo agua adicional y presión al sistema de rociadores, mangueras o cualquier otro sistema contra incendio a base de agua, suplementando de este modo el agua existente del suministro [84] [85].

2.4.4.2 Ubicación y características

La toma siamesa, debe ubicarse, según NFPA [84], a no menos de 18 in (500 mm) y no más de 4 ft. (1.2 m) sobre el nivel de piso.

La dimensión de la tubería para las tomas siamesas deberán ser de acuerdo a lo siguiente:

- 1) Sera de mínimo 4 in para las conexiones del equipo del departamento de bomberos.
- 2) Sera de mínimo 6 in para las conexiones del bote contra incendio.
- 3) Para sistemas hidráulicamente calculados, la tubería podrá ser menor a 4 in., pero no menor que el diámetro del alimentador (*riser*) el cual alimentara esa conexión.

Este tipo de conexiones deberán colocarse de tal manera que sean de fácil acceso para el departamento de bomberos, sin que interfieran objetos incluyendo y no limitándose a edificios, cercas, postes, banquetas u otras tomas siamesas.

La válvula check deberá colocarse para maximizar la accesibilidad. Y se recomienda que sea ubicada para reducir la longitud de la tubería no presurizada.

La toma siamesa debe conectarse al alimentador (*riser*) o directamente de la tubería de alimentación subterránea. No debe ser conectada a la tubería de succión ni a ramales del sistema.

FM Global, menciona que este tipo de conexión están elaboradas de bronce y consisten en dos entradas de acoplamiento roscadas para los equipos estándares de bomberos (mangueras) y unidas en la conexión de la tubería. Se proporciona una válvula check en cada entrada de tal manera que cada conexión pueda utilizarse por separado, tal como se muestra en la figura 2.10. Las conexiones están disponibles en ángulos de 45° y 90° [85].

Para mayores detalles de conexión, ubicación, señalización y accesorios, se recomienda acudir a NFPA 13, sección 8.

La normativa mexicana, menciona al respecto que la red contra incendio deberá contar con una conexión siamesa accesible y visible para el servicio de bomberos, conectada a la red hidráulica y no a la cisterna o fuente de suministro de agua.



Fuente: Control y Acceso Industrial de México (COPAINMEX).

Figura 2.10. Toma Siamesa

2.4.5 Tubería Subterránea.

2.4.5.1 Requerimientos

Las redes exteriores contraincendios se utilizan cuando la fuente o suministro de alimentación está separado del edificio que se quiere proteger [86].

Los materiales para la red exterior son diversos, tanto NFPA como FM Global, cuentan con un listado de materiales aprobados [85] y estándares utilizados para uso tuberías subterráneas [84]. En la industria contra incendio, la tubería de PVC y acero son las más utilizadas por su bajo costo y durabilidad y rugosidad [85] [86].

El estándar NFPA 24, menciona que las tuberías subterráneas deberán estar listadas y deben ser de uso exclusivo para contra incendio. Así mismo, considera que la presión mínima que este tipo de tubería debe soportar son 150 psi.

La tubería subterránea podrá introducirse al edificio a través de la losa o pared del edificio a no más de 24 in, según lo indicado en el punto 10.1.4.1 de

NFPA 24, y en tal caso, debe protegerse de los rayos del sol, de químicos en la losa o la construcción y es necesario soportar la tubería adecuadamente [84].

Una parte esencial del diseño de una red subterránea para alimentar un sistema son los atraques. Estos son bloques concreto, elaborados con una dosificación mínima que conste de 1 parte de cemento, 2.5 partes de arena y 5 partes de grava [84].

Los atraques son diseñados y calculados para absorber las fuerzas a lo largo de la tubería debidas a la presión, flujo y velocidad del agua, es decir, su función principal es absorber y disipar la energía que libera el movimiento del agua al chocar con los accesorios que unen a las tuberías. La metodología para su cálculo, se encuentran en NFPA 24 [84] [86].

Los atraques son colocados en cada cambio de dirección de la tubería y su diseño depende de varios factores tales como: tamaño de la tubería, presión interna, profundidad y las características del suelo que rodean la tubería [84].

La tubería subterránea debe contar con un programa de mantenimiento. Deberá someterse a pruebas de limpieza y aprobación final para su uso. Las especificación para colocación de válvulas, pintura, instalación y acoplamiento, están definidos en la ficha técnica de FM 3-10 y el estándar 24 de NFPA [84] [85].

2.4.6 Hidrantes de patio

2.4.6.1 Definición

Los hidrantes de patio, tienen como función, extraer agua de la red de tuberías subterránea mediante la conexión de mangueras al hidrante, esto, para apoyar al departamento de bomberos en caso de algún siniestro. Deben ser listados y aprobados.

El estándar NFPA 24, define al hidrante como una conexión con válvulas en un sistema de abastecimiento de agua, la cual cuenta con una o más salidas que son utilizadas para proveer agua a mangueras y autobombas del departamento de bomberos. Los hidrantes pueden ser públicos o privados [84].

En el caso de la región de Mexicali y zonas donde el clima no permita el congelamiento, son utilizados los llamados hidrantes de barril húmedo, los cuales cuentan con en cada salida con una válvula [84].

FM Global, menciona entre otros puntos técnicos, que cuando existan mangueras contra incendio, se podrán reducir el número de hidrantes requeridos.

La ficha técnica de FM 3-10, indica que los hidrantes se deberán ubicar a cada 300 ft (90 m) a lo largo de la pared del edificio. Si este es mayor a 300 ft (90 m) de ancho, deberán colocarse hidrantes sobre los lados opuestos del edificio. Un hidrante de pared puede suplirse por un hidrante de patio [85].

NFPA, menciona que la ubicación, dimensión y cantidad de hidrantes, deberán ser consultados con las autoridades competentes de la localidad [84].



Fuente: Imagen tomada de <http://mrsc.org/>

Figura 2.11 Hidrante de patio



Fuente: Fire Fighter Products, Inc.

Figura 2.12 Hidrante de pared para conexión de manguera

2.4.7 Riser (Alimentador)

El Riser de un sistema contra incendio está definido por FM y NFPA, como una tubería vertical de un sistema de rociadores, que conecta el suministro de agua del sistema (generalmente desde la tubería subterránea) a la tubería principal alimentadora del sistema de rociadores. El Riser está equipado con un dispositivo de alarma de flujo de agua, así como un manómetro de presión y una válvula de drenado. Otros equipos auxiliares que se incluyen generalmente en el riser son una válvula de alivio y un punto de unión a una conexión para el servicio de bomberos [70] [9].

2.4.7.1 Elementos

Alarma de flujo de agua:

FM: Dispositivo instalado en el riser del sistema de rociadores y activa una alarma cuando opera uno o más rociadores [70].

El sistema de dispositivos alarma para los rociadores, deberá iniciar su señal de alarma en un tiempo no mayor a 60 segundos después de la activación de un rociador.

NFPA: Es una conexión al sistema de rociadores que detecta un flujo predeterminado de agua y está conectado a un sistema de alarma contra incendio para iniciar una condición de alarma, también es utilizada para que de manera eléctrica o mecánica se inicie la operación de la bomba contra incendio y activar una alarma audible o visual [69].

El dispositivo, debe calibrarse para detectar el flujo del rociador con factor K más pequeño del sistema, y debe iniciar su funcionamiento de alarma 5 minutos después de la detección de flujo, y terminar hasta que el flujo haya parado.

Manómetros de presión.

FM: Es un dispositivo instalado al sistema de rociadores que mide la presión del agua u otra media dentro del sistema de rociadores, actuando sobre las paredes internas de la tubería de aspersores.

Deben ser instaladas de tal manera que sean accesibles para inspección visual y para cualquier requerimiento de prueba o mantenimiento. La ubicación de los manómetros de presión están listados en el punto 2.6.6 de la ficha técnica FM 2-0 [70].

NFPA: Deberán instalarse en cada riser del sistema, sobre y bajo la válvula check alarma o la válvula check del riser, y donde este tipo de dispositivos estén presentes. Este tipo de manómetros deberán tener una conexión no menor a $\frac{1}{4}$ in., así mismo, deben trabajar un límite máximo no menor al doble de la presión normal de trabajo del sistema en el punto donde son instalados [9].

Válvula de drenado.

FM: Una válvula que opera manualmente, generalmente de 2 in (50 mm) de diámetro y localizada en el riser del sistema de rociadores, la cual es utilizada con el propósito de drenar el agua del sistema de rociadores y verificar el flujo de agua en el riser [70].

Se localizara la válvula de drenaje de tal manera que la descarga de agua sea segura y el lugar sea capaz de manejar el flujo máximo de descarga del sistema con la válvula completamente abierta [70].

NFPA: La válvula no debe interconectarse a las alcantarillas o desagües. No deberán terminar en un punto ciego del edificio, y cuando se coloquen hacia el exterior deberán contar con un codo girado hacia el suelo [9].

Los alimentadores, cuentan con diversos dispositivos, los cuales se encuentran descritos en el NFPA 13, y la ficha técnica de FM Global 2-0., así mismo en estos documentos se podrán consultar diámetros, localización y especificaciones.

2.4.8 Tubería Aérea

2.4.8.1 Especificaciones básicas.

Una gran cantidad de materiales de tubería son aceptables para utilizarse en sistema de rociadores. El acero, cobre y materiales para tubos no metálicos se encuentran discutidos actualmente en la NFPA 13 y estos, deben cumplir con ciertas normas de fabricación, listados en ese mismo estándar [5]. Las tuberías deben estar listadas para uso contra incendio.

Son permitidos el uso de tubería de cobre y materiales no metálicos con CPVC, siempre y cuando cumplan con los requerimientos listados en NFPA 13 tabla 6.3.1.1 [9].

La tubería de acero es ideal para la instalación de un sistema aéreo, por su sencilla instalación, resistente a golpes y fuego [86].

Generalmente, se utilizan cédulas 10, 30, 40 y menores a 10, siempre y cuando estén listadas para uso contra incendio y cumplan con los límites de presión de trabajo establecidos por NFPA 13 [9].

2.5.8.2 Definiciones

Es muy importante describir algunos conceptos relacionados con la tubería área la cual es parte del sistema de rociadores. Dichos conceptos, se utilizan con frecuencia durante el desarrollo de un proyecto de aspersores. Según lo descrito en el punto 3.5 de NFPA 13, edición 2016, las definiciones son las siguientes:

Ramal o *Branchline*: Son aquellas tuberías que alimentan a los rociadores, ya sea directamente o a través de espigas, caídas, codos o garzas.

Cabezal o *Cross main*: Es la tubería que alimenta los ramales o *branchlines* directamente o a través de una sección de tubería vertical llamada *riser nipple*.

Alimentador o *Feed main*: Es la tubería que alimenta al cabezal (*crossmain*), ya sea directamente o a través de un riser.

2.4.8.2 Configuración de tubería área para sistema de rociadores.

2.5.8.2.1 Tipo Árbol

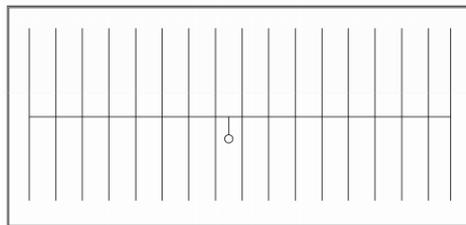
Consiste en una tubería de diámetro mayor (cabezal) que suministra agua a varias tuberías de menor diámetro (ramales). Dentro de esta configuración, existen cuatro tipos, los cuales serán descritos de mayor a menor eficiencia [87]:

Alimentador Centro-Centro. El cabezal se encuentra ubicado al centro del sistema y el alimentador alimenta a la tubería por el centro del cabezal. Y por el recorrido del agua, vuelve a este sistema tipo árbol, el más eficiente de los cuatro. Ver figura 2.13 a).

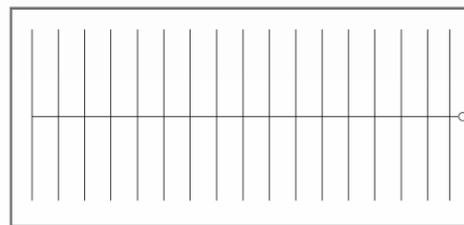
Alimentador Centro-Extremo. El cabezal se encuentra al centro del sistema y el alimentador suministra agua desde un extremo del cabezal. Ver figura 2.13 b).

Alimentador Lado-Centro. El cabezal se encuentra recargado hacia un extremo del sistema y el alimentador suministra agua por el centro del cabezal. Ver figura 2.13 c).

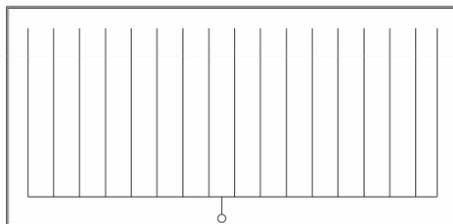
Alimentador Lado-Extremo. Igual que el anterior, el cabezal se encuentra recargado hacia un extremo del sistema, con la diferencia que el alimentador suministra el agua por un extremo del cabezal, y por el recorrido que realiza el agua hasta el rociador más lejano, este se vuelve la configuración de menor eficiencia. Ver figura 2.13 d).



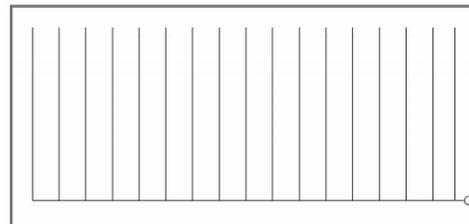
a) Alimentador Centro - Centro



b) Alimentador Centro - Extremo



c) Alimentador Lado - Centro



d) Alimentador Lado - Extremo

Fuente: Boletín de Ingeniería #33. Morán, Cristal (2014)

Figura 2.13 Configuración tipo Árbol

2.4.8.2.2 Tipo Anillo (*Loop*)

Este sistema tiene mayor ventaja que el sistema tipo árbol, ya que el agua puede tomar más de una ruta para llegar hasta el rociador. La NFPA 13, define a la configuración tipo anillo como un sistema de aspersores donde múltiples cabezales están conectados juntos, de tal manera que suministran más de una ruta para que el agua fluya hasta un rociador abierto, y los ramales no se encuentran conectados entre sí. Ver figura 2.14. [9].

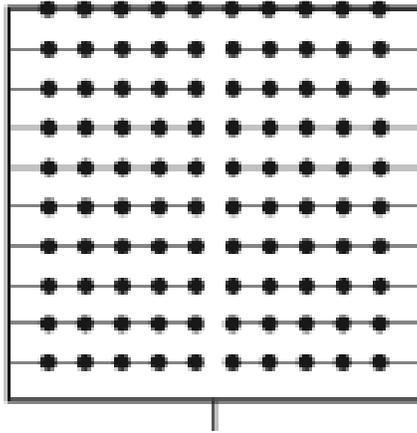
2.4.8.2.3 Tipo Parrilla (*Grid*)

Un sistema de rociadores donde los cabezales se encuentran paralelos y conectados entre sí a través de múltiples ramales, ocasionando que un rociador abierto, reciba el agua desde ambos puntos finales de su ramal, mientras los otros ramales ayudan a transferir el agua entre los cabezales. Ver figura 2.15. [9]

2.4.9 Gabinetes contra incendio

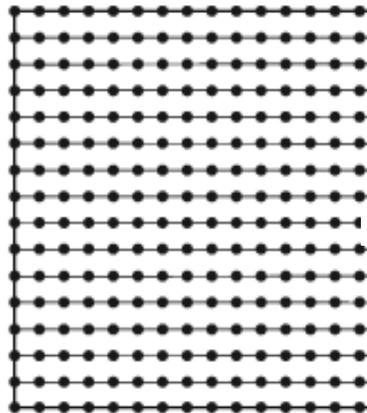
2.4.9.1 Definición

El estándar 14 de NFPA, define un sistema de gabinetes como el arreglo de tuberías, válvulas, conexiones y equipo similar instalado en un edificio o estructura con conexiones para manguera ubicadas de tal manera que el agua puede ser descargada en chorro o patrones de esprayado a través de mangueras y boquillas, con el propósito de extinguir un fuego, protegiendo así el edificio o estructura y su contenido, además de proteger a sus ocupantes [88].



Fuente: NFPA 13, edición 2016

Figura 2.14 Sistema tipo Anillo (*loop*).



Fuente: NFPA 13, edición 2016

Figura 2.15 Sistema tipo Parrilla (*grid*).

En 1950 el comité de NFPA 14 determino que para obtener un flujo mínimo de 250 gpm se debía tener una presión de 50 psi, pero por las pérdidas por fricción el comité determino que por lo menos un debería de tener una presión de 65 psi [89].

El estándar de NFPA, distingue tres clases de sistemas para mangueras, los cuales se describen a continuación de acuerdo al punto 3.3.19 de NFPA 14, edición 2016 [88]:

Sistema Clase I: Un sistema que provee conexiones de mangueras de 2½ in (65 mm) para suministrar agua para uso exclusivo del departamento de bomberos.

Sistema Clase II: Un sistema que esta provisto por conexiones para estaciones de 1½ in (40 mm) para suministrar agua de uso primario, utilizado por personal entrenado o por el departamento de bomberos durante una respuesta inicial al incendio.

Sistema Clase III: Sistema que proporciona una estación de 1½ in (40mm) para el suministro de agua por personal entrenado y además, una conexión de 2½ in (65 mm) para proveer un gran volumen de agua para uso exclusivo del departamento de bomberos.

2.4.9.2 Requerimientos de Presión y Distribución

2.4.9.2.1 Por NFPA [88]:

Bajo las condiciones de clase definidas en el NFPA 14, la distribución y colocación de las mangueras es la siguiente:

Las mangueras se colocaran en lugares sin obstrucción y a una distancia vertical de 3 ft. a 5 ft. del nivel de piso.

Para todas las clases, las mangueras se colocaran inicialmente, en los cubos de escalera y salidas de emergencia, siguiendo los patrones de distancia establecidos en el estándar.

Clase I y III: Cada manguera se colocará a no más de 200 ft. (60 m), entre sí, para construcciones protegidas con un sistema de rociadores. Y de 130 ft (40 m), para edificaciones sin un sistema aspersores. Distancia medida desde la válvula de conexión.

Para un sistema hidráulicamente calculado, el alimentador no deberá ser menor a 4 in (100 mm), y su ramal, de un diámetro mínimo de 2½ in (65 mm).

La presión mínima para la salida de 2½ in, no deberá ser menor a 100 psi. Mientras que para salidas de 1½, la presión mínima será de al menos 65 psi.

Las mangueras deberán contar con una válvula reductora de presión.

2.4.9.2.2 Por Normativa Mexicana:

Se sugiere en la NOM-002-STPS-2010, que el sistema cuente con una presión mínima de 100 psi (7 kg/cm²), para operar un número determinado de mangueras o rociadores [45].

La Norma Técnica Complementaria [65], un poco más específica, indica que: las mangueras deben cubrir un área de 30 m de diámetro, y la distancia entre ellas, no deberá ser mayor a 60 m. Las mangueras se colocaran lo más cercano posible a los cubos de escaleras.

El diámetro de la manguera y su salida debe ser de 1½ in (38 mm), con un cabezal no menor a 3 in (75 mm), y ramales no menores a 2 in (51 mm).

Las mangueras deberán contar con válvulas reductoras de presión, para que no se exceda de los 60 psi (4.2 kg/cm²). Así mismo, se calcularán dos

hidrantes más remotos por cada 3000 m², garantizando una presión de 35 psi (2.5 kg/cm²) en el punto más desfavorable.

A diferencia de las normas internacionales, donde el sistema de gabinetes, es un sistema de apoyo para el sistema de rociadores, en México, se considera al sistema de mangueras como un sistema principal y no sustituible por el sistema de rociadores, según lo mencionado en la Norma Técnica Complementaria.

Dentro de los beneficios de un sistema de mangueras, se encuentran [89]:

- a) Es una manera de suprimir rápido un incendio.
- b) Pueden ser operadas con una sola persona, no dependen de que se expandan el calor, humo o flama para aplicar agua sobre un incendio. Y es un buen sistema de soporte en dado caso de que un sistema automático falle.
- c) Al ser utilizados correctamente, el daño por agua puede ser mínimo. Y pueden ser apagados inmediatamente.

El diseño de un sistema de mangueras, es efectivo, si se cuenta con personal capacitado para su uso. Sin embargo, a diferencia de los rociadores automáticos, es indispensable que sea operado por una persona, lo cual representa un riesgo.



a) Para muro



b) Para columna

Fuente: www.Potterroemer.com

Figura 2.16 Manguera contra incendio.

2.4.10 Extintores

2.4.10.1 Definición

La selección del agente extintor y su distribución, dependerá (por normativa nacional e internacional), principalmente del tipo de fuego a extinguir.

El estándar número 10 de NFPA “*Standard for Portable Fire Extinguisher*”, edición 2013, trata lo relacionado a los extintores portátiles. Y define como extintor contra incendio, a aquel dispositivo portátil, sobre ruedas o que pueda ser levantado y operado a mano, el cual contiene un agente extintor que puede ser expulsado bajo presión con el propósito de suprimir o extinguir el fuego [64].

En México, dependiendo del peso del extintor, este, por su tipo forma parte de los sistemas portátiles y móviles, según lo establecido por la NOM-002, en el punto 4.9 Equipo contra incendio, tal como se describe a continuación [45]:

Portátiles: Son aquellos que están diseñados para ser transportados y operados manualmente, con un peso total menor o igual a 20 kilogramos, y que contienen un agente extintor, el cual puede expelerse bajo presión con el fin de combatir o extinguir un fuego incipiente.

Móviles: Son aquellos que están diseñados para ser transportados sobre ruedas, sin locomoción propia, con un peso superior a 20 kilogramos, y que contienen un agente extintor, el cual puede expelerse bajo presión con el fin de combatir o extinguir un fuego incipiente.

La eficiencia de un extintor en un fuego en particular depende del tamaño del incendio y de la cantidad y tipo de agente que contenga el extintor. Diferentes agentes extinguidores pueden ser utilizados para apagar diferentes clases de fuegos [90]. Tal como se trató en el inciso 2.1.5 de esta tesis.

2.4.10.2 Requerimientos de ubicación.

La instalación de extintores, deberá ser cuidadosa y ubicarse en los pasillos de recorrido común, en columnas, muros, así como en salidas de emergencia y cubos de escalera, según se requiera.

Es indispensable que se sigan los siguientes parámetros, tal como lo solicitan las normas nacionales e internacionales [90]:

VISIBILIDAD: El extintor debe estar colocado en un sitio que facilite su ubicación por las personas que estén en el área a proteger. Debe ser visible y tener una señal o aviso que permita encontrarlo.

PROTECCIÓN: El extintor debe estar protegido contra daños físicos, húmedos, corrosión, calor excesivo y vandalismo.

Además de estos puntos, se requiere instalar los extintores debidamente según su tipo, riesgo y capacidad. A continuación se describen los parámetros para la ubicación y distancia de recorrido de los extintores.

2.4.10.2.1 Altura de Instalación.

Las distancias de la tabla 2.10, se toman desde el N.P.T. hasta el punto más alto del extintor.

Tabla 2.10 “Altura del Extintor según las Normas Vigentes”

Norma	Altura a partir de N.P.T.	
	Extintor con peso menor a 20 kg	Extintor con peso mayor a 20 kg
NFPA	5 ft (1.53 m)	3½ ft (1.07 m)
FM Global	3 ft a 5 ft	
NOM-002	1.5 m	
NTC	1.5 m	

2.4.10.2.2 Distancias de Recorrido

Las distancias de recorrido, deben considerar vueltas y rodeos para llegar al extintor [65].

La tabla 2.11, muestra una síntesis de las distancias de recorrido por norma, considerando el riesgo y tipo de fuego.

Los extintores cumplen una función de vital importancia en el plan de protección contra incendios de un centro de trabajo o un hogar puesto que, es la primera barrera contra un incendio, es decir, son los dispositivos iniciales utilizados para intentar controlarlo.

Las características del extintor, su fácil localización, el uso que se haga de él y condiciones de carga y presión en las que se encuentra el equipo, son factores determinantes para que se consiga evitar, o no, la propagación del fuego [90].

Tabla 2.11 “Distancias de Recorrido para extintores, según el riesgo y tipo de fuego.”

Norma	Tipo de Fuego									
	A		B		C		D		K	
	Ordinario	Alto	Ordinario	Alto	Ordinario	Alto	Ordinario	Alto	Ordinario	Alto
NFPA	75 ft. (23 m)		30 ft (9.1 m) a 50 ft (15 m)		Similar a riesgos A o B		75 ft. (23 m)		30 ft (9.1 m)	
NOM	75 ft. (23 m)		50 ft. (15 m)	32.8 ft (10 m)	75 ft. (23 m)		75 ft. (23 m)		32.8 ft. (10 m)	
NTC	50 ft (15 m)									



a) Portátil



b) Móvil o sobre ruedas

Fuente: www.Potterroemer.com

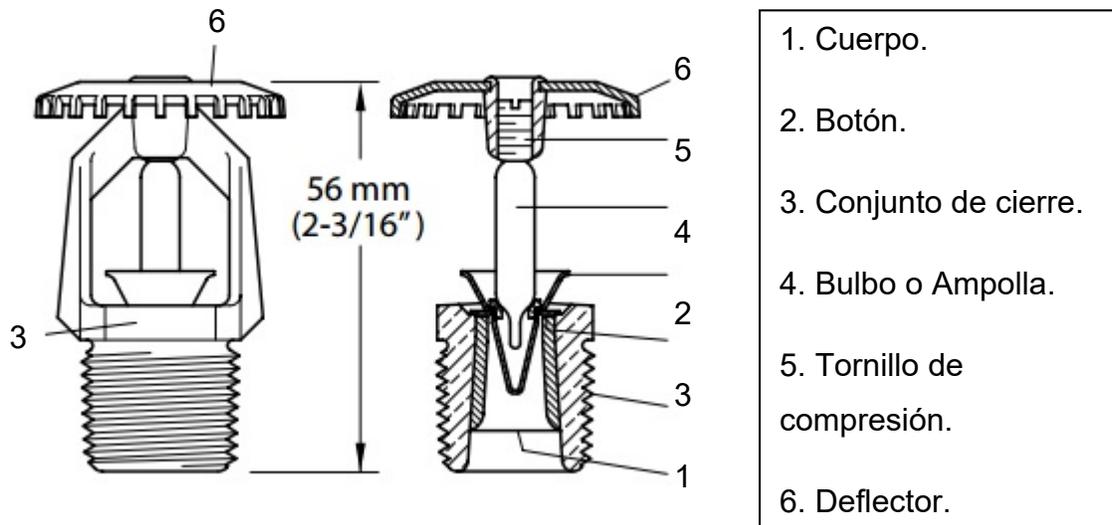
Figura 2.17 Extintor contra incendio

2.4.11 Rociadores

Los rociadores automáticos son dispositivos termo sensibles diseñados para reaccionar a temperaturas predeterminadas liberando automáticamente un chorro de agua que distribuyen en patrones y cantidades específicas sobre áreas designadas. La intención de la distribución automática de agua es extinguir un incendio o impedir su propagación en caso de que el fuego inicial este fuera del alcance de los rociadores o este sea de un tipo el cual no puede ser suprimido por el agua descargada por los rociadores. El agua se suministra a los rociadores a través de un sistema de tubería, generalmente elevado, con los rociadores colocados a intervalos a lo largo de los tubos [5].

2.4.11.1 Componentes de un Rociador

La figura 2.18, muestra los componentes de un rociador, donde se observan dos de sus elementos principales, el deflector y el elemento termo sensible.



Fuente: Ficha Técnica TYCO Fire TFP151

Figura 2.18 Componentes de un rociador contra incendio

2.4.11.2 Principios del Desempeño de Rociadores

2.5.11.2.1 Elemento termo sensible.

En condiciones normales, la descarga de agua desde un rociador automático está restringida por medio de una tapa o válvula que se sostiene apretadamente contra el orificio por medio de un sistema de palancas y enlaces u otros dispositivos de liberación que la oprimen hacia abajo y se encuentran asegurados firmemente mediante apoyaderos en el rociador [5].

A continuación, se describirán los dos tipos más comunes de rociadores para sistemas húmedos de aspersores, relativos al elemento termo sensible del dispositivo [5].

Rociador Tipo fusible: El rociador automático tipo fusible común funciona cuando se funde una aleación metálica con un punto de fusión predeterminado. Se utilizan diversas combinaciones de palancas, apoyaderos y enlaces u otros miembros soldados para reducir la fuerza que actúa sobre la soldadura de modo que el rociador se mantenga cerrado con la menor cantidad posible de metal y soldadura. Esto minimiza el tiempo de activación reduciendo la masa de metal fundible que debe calentarse. Las soldaduras usadas en los rociadores automáticos son aleaciones de fusibilidad óptima, compuestas principalmente de estaño, plomo, cadmio y bismuto; todos tienen un punto de fusión claramente definidos.

Rociador de Bulbo o Ampolla: La pequeña ampolla, normalmente de vidrio, contiene un líquido que no llena la ampolla por completo, dejando una pequeña burbuja de aire atrapada en su interior. A medida que el calor expande el líquido, la burbuja se comprime y finalmente es absorbida por el líquido. Tan pronto como desaparece la burbuja, la presión aumenta considerablemente y la ampolla se rompe, liberando la tapa de la válvula. La temperatura exacta de funcionamiento se regula graduando la cantidad de líquido y el tamaño de la burbuja cuando se sella la ampolla.

2.4.11.2.2 Deflector.

Unido a la estructura del rociador, existe un deflector o distribuidor contra el cual se envía el chorro de agua para convertirse en una pulverización diseñada para cubrir o proteger un área determinada. La cantidad de agua que se descarga depende de la presión del caudal y del tamaño del orificio del rociador. Generalmente se considera que la presión mínima para desarrollar un patrón de pulverización razonable es de 7 psi (0.49 kg/cm²) [5].

Los rociadores por pulverización estándar, utilizan los mecanismos de liberación mencionados anteriormente. La diferencia en la descarga es producida por el deflector; algunas diferencias aparentemente sin importancia en el diseño del deflector producen grandes diferencias en las características de descarga.

El diseño del deflector produce un chorro sólido de agua emitido desde el orificio de un rociador estándar que se rompe en forma de sombrilla. El patrón es similar al de media esfera llena de pulverización de agua. Los rociadores estándar están hechos para instalarse verticalmente o colgantes y deben ser instalados en la posición para la cual han sido diseñados [5]. La figura 2.18 muestra las dos configuraciones de un rociador estándar.



a) Rociador colgante (*pendent*).



b) Rociador montante (*upright*).

Fuente: Tyco Fire Series TY-FRB

Figura 2.19 Configuración de rociadores estándar, según la posición del deflector.

Ambos rociadores mostrados en la figura 2.18, tienen las mismas características de temperatura, funcionamiento y factor K, solo difieren en el acabado y la posición del deflector, lo que indica el modo que deben ser instalados en la tubería.

2.4.11.3 Clasificación por temperatura

La clasificación de temperatura de todos los rociadores automáticos de elemento fusible aparece en un sello sobre el enlace soldado. Para los rociadores de ampolla, la clasificación de temperatura debe aparecer en un sello o estar impresa en alguna parte visible. Los códigos de color también son utilizados para las ampollas de vidrio y para los brazos de las estructuras de los rociadores de elemento fusible [5].

A diferencia del elemento fusible, el cual pierde fuerza a cierta temperatura por debajo de su punto de fusión (lo cual puede causar el funcionamiento prematuro de un rociador), los aspersores de ampolla de vidrio no pierden fuerza a temperaturas cercanas a sus temperaturas de funcionamiento, utilizarlos a dichas temperaturas puede hacer que la burbuja de aire se pierda y se vuelva a formar continuamente, lo cual produce tensión sobre la burbuja.

La NFPA 13, proporciona una tabla para los rangos de temperatura de los rociadores y sus colores de identificación, tal como se muestra en la tabla 2.12.

Tabla 2.12 Rangos de Temperatura, Clasificación y Código de color para Rociadores según NFPA 13

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

2.4.11.4 Clasificación por descarga

En el mercado, existen distintos tipos de rociadores para ocupaciones específicas y usos varios.

El estándar 13 de NFPA, clasifica a los rociadores bajo tres características: Orientación de la instalación, Condiciones especiales de servicio y Tipos de Rociador. La figura 2.19, muestra esta clasificación. Para la correcta instalación, así como las características de los acabados tanto del aspensor como de la tapa (si aplica), pueden ser consultadas en las fichas técnicas respectivas que proporciona cada fabricante.

La tasa de descarga de agua de los rociadores obedece a las leyes de la hidráulica y depende del diámetro del orificio o la boquilla y de la presión del agua [5].

Los rociadores han sido fabricados con diferentes tamaños de orificios para conseguir diferentes caudales con las presiones disponibles. Entre menor sea el tamaño del orificio, menor será el caudal proveniente del rociador cuando se abra. La característica usada para medir el tamaño del orificio se denomina factor K, y representa la constante matemática que relaciona el caudal desde el rociador bajo la presión disponible según lo indicado en la siguiente ecuación:

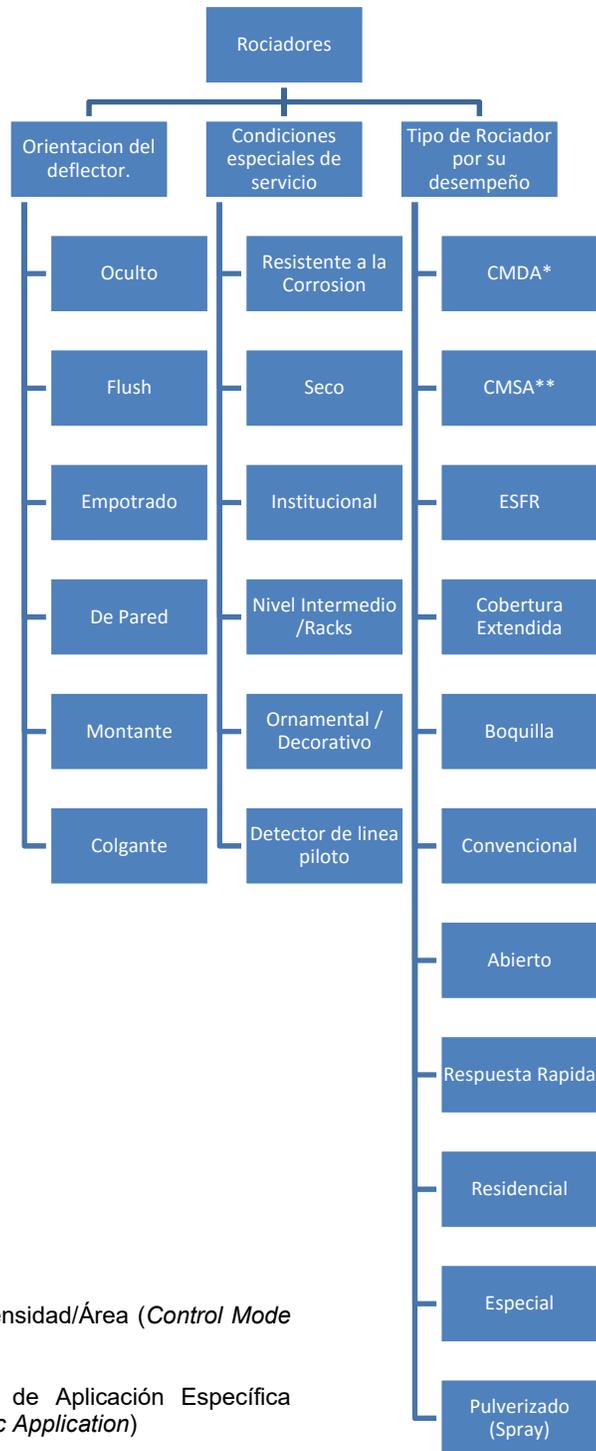
$$Q = K\sqrt{P} \quad \text{Ec.2}$$

Dónde:

Q = caudal en gal/min (L/min)

K = constante del caudal

P = presión en psi (bar)



* Modo de Control Densidad/Área (*Control Mode Density/Area*)

** Modo de Control de Aplicación Específica (*Control Mode Specific Application*)

Elaboración propia

Figura 2.20 Clasificación de Rociadores según NFPA 13.

El rociador por pulverización estándar desarrollado a finales de los años 50 tenía un factor K en unidades Inglesas de 5,6. Los rociadores con factores K de 5,6 se siguen utilizando con mucha frecuencia, y son un parámetro base en las tablas para descarga de NFPA 13 [5].

Los rociadores con tamaños de orificio inferiores al factor K estándar de 5,6 se encuentran disponibles cuando el diseñador desea restringir el caudal que entra a cierto espacio. Normalmente, esto sucede cuando un rociador protege un cuarto relativamente pequeño, donde la densidad se puede alcanzar a una presión relativamente pequeña.

Los rociadores con tamaños de orificio superiores al K=5,6 estándar se encuentran disponibles cuando el diseñador desea obtener caudales superiores desde el rociador a la misma presión. Los rociadores con tamaños de orificio más grandes tienden a producir gotas de agua de mejor tamaño con un impulso de gota mayor que los rociadores con tamaño de orificio de K=5.6. Estos rociadores de orificio de mayor tamaño son mejores en el momento de combatir incendios muy complicados tales como los que ocurren en las ocupaciones de almacenamiento, donde las gotas de agua de los rociadores deben superar el impulso del penacho de fuego con el fin de lograr el control o la supresión del incendio [5].

La tabla 2.13, muestra la identificación de los rociadores en relación al factor K, de acuerdo a lo expuesto en el estándar 13 de NFPA [9].

Por otra parte, Factory Mutual, brinda una tabla para la selección de rociadores en edificaciones de no almacenamiento, la selección es en base al riesgo a proteger y la altura total de la propiedad. Así se muestra en la tabla 2.14 Factor K mínimo para rociadores por Categoría de Riesgo [71]

Tabla 2.13 Identificación de rociadores por su característica de Descarga, según NFPA 13, edición 2016 [9].

Factor K Nominal		Rango de Factor K		Porcentaje de descarga K-5.6 Nominal	Tipo de Rosca (NPT)
gpm/psi ^{1/2}	L/min/(bar ^{1/2})	gpm/psi ^{1/2}	L/min/(bar ^{1/2})	%	In. (mm)
1.4	20	1.3-1.5	19-22	25	½ (15)
1.9	27	1.8-2.0	26-29	33.3	½ (15)
2.8	40	2.6-2.9	38-42	50	½ (15)
4.2	60	4.0-4.4	57-63	75	½ (15)
5.6	80	5.3-5.8	76-84	100	½ (15)
8.0	115	7.4-8.2	107-118	140	¾ (20)
					½ (15)
11.2	160	10.7-11.7	159-166	200	½ (15)
					¾ (20)
14.0	200	13.5-14.5	195-209	250	¾ (20)
16.8	240	16.0-17.6	231-254	300	¾ (20)
19.6	280	18.6-20.6	272-301	350	1 (25)
22.4	320	21.3-23.5	311-343	400	1 (25)
25.2	360	23.9-26.5	349-387	450	1 (25)
28.0	400	26.6-29.4	389-430	500	1 (25)

Es muy importante seleccionar adecuadamente el rociador que se requiere para la ocupación a proteger. De esta manera y en base a la tabla 2.12, se deberá seleccionar la temperatura aproximada de cubierta, para elegir un rociador adecuado. Posteriormente, se selecciona el factor K, el cual debe ser efectivo para el área que se desea proteger.

Tabla 2.14 Factor K mínimo para rociadores por Categoría de Riesgo por FM.

Categoría de Riesgo	Altura de Cubierta, ft (m)		
	Hasta 30 ft (9 m)	30-60 ft (9-18 m)	Mayor a 60 ft (18m)
HC-1	5.6 o 5.6EC	8.0	25.2 o 25.2 EC
HC-2	8.0 o 11.2EC	8.0	25.2 o 25.2 EC
HC-3	11.2 o 11.2 EC	11.2	25.2 o 25.2 EC

2.4.12 Soportería elemental y antisísmica

2.4.12.1 Definición

Un soporte para sistemas contra incendio, es un dispositivo o ensamble, utilizado para soportar la carga gravitacional que actúa sobre el sistema de tuberías [9].

Un soporte es un elemento que sostiene las tuberías en la cubierta, paredes y el suelo. Mantienen la tubería en su lugar, reduce la tensión en tramos largos y prevé que la tubería se golpe o roce contra otras instalaciones o el edificio mismo; previendo así fugas y fracturas en la tubería. Es por eso que es esencial tener una buena distribución e instalación de la soportería para tener una instalación libre de problemas [91].

Los requerimientos para la soportería de la tubería de los sistemas contraincendios han sido incluidos en los reglamentos de NFPA desde la publicación de la primera edición en 1896. Y a más de un siglo después algunos de estas reglas siguen vigentes y con el paso de las décadas solamente se han expandido [91].

La NFPA 13, en su capítulo número 9, muestra el diseño adecuado de los soportes y su correcta instalación. Y a su vez, Factory Mutual, cuenta con especificaciones técnicas en su ficha número 2-08 “*Earthquake protection for water-based fire protection systems*”.

2.4.12.2 Soportería Antisísmica

Dentro del tema de soportería, existen soportes especiales para zonas definidas, llamados soportes antisísmicos. Este tipo de dispositivos, suelen ser flexibles y absorben la energía debido al movimiento telúrico, que afecta al sistema de tuberías.

Para conocer si es necesario o no colocar protección antisísmica, es necesario verificar si la construcción se encuentra en una zona sísmica. Esto puede corroborarse en distintos documentos como los Reglamentos de Construcción de cada Estado, en mapas elaborados por Instituciones especializadas o en mapas y documentos que emiten algunas aseguradoras [92].

México, cuenta con una zonificación sísmica, la cual divide al país en cuatro zonas, denominadas como A, B, C y D, representan zonas de menor a mayor riesgo sísmico y se han definido básicamente en función de la sismicidad propia de cada región, como se observa en la figura 2.20 Zonificación sísmica de México [93].

Por otra parte, FM, cuenta con mapas de clasificación de zonas sísmicas para una gran variedad de países, elaborados en base a la información sísmica y los periodos de retorno. La figura 2.21, muestra el mapa de Norte América y la clasificación por zona otorgada por FM. Es importante mencionar que al igual que el resto de las fichas técnicas emitidas por FM, esta es revisada y actualizada.

En ocasiones, se observan discrepancias en la detección de una zona sísmica, basados en mapas de zonificación entre distintas instituciones, y es posible que sea incierta la aplicación de soportería sísmica en algún lugar. Al

respecto, se sugiere, que el tema sea discutido con la autoridad local competente con jurisdicción en el tema.

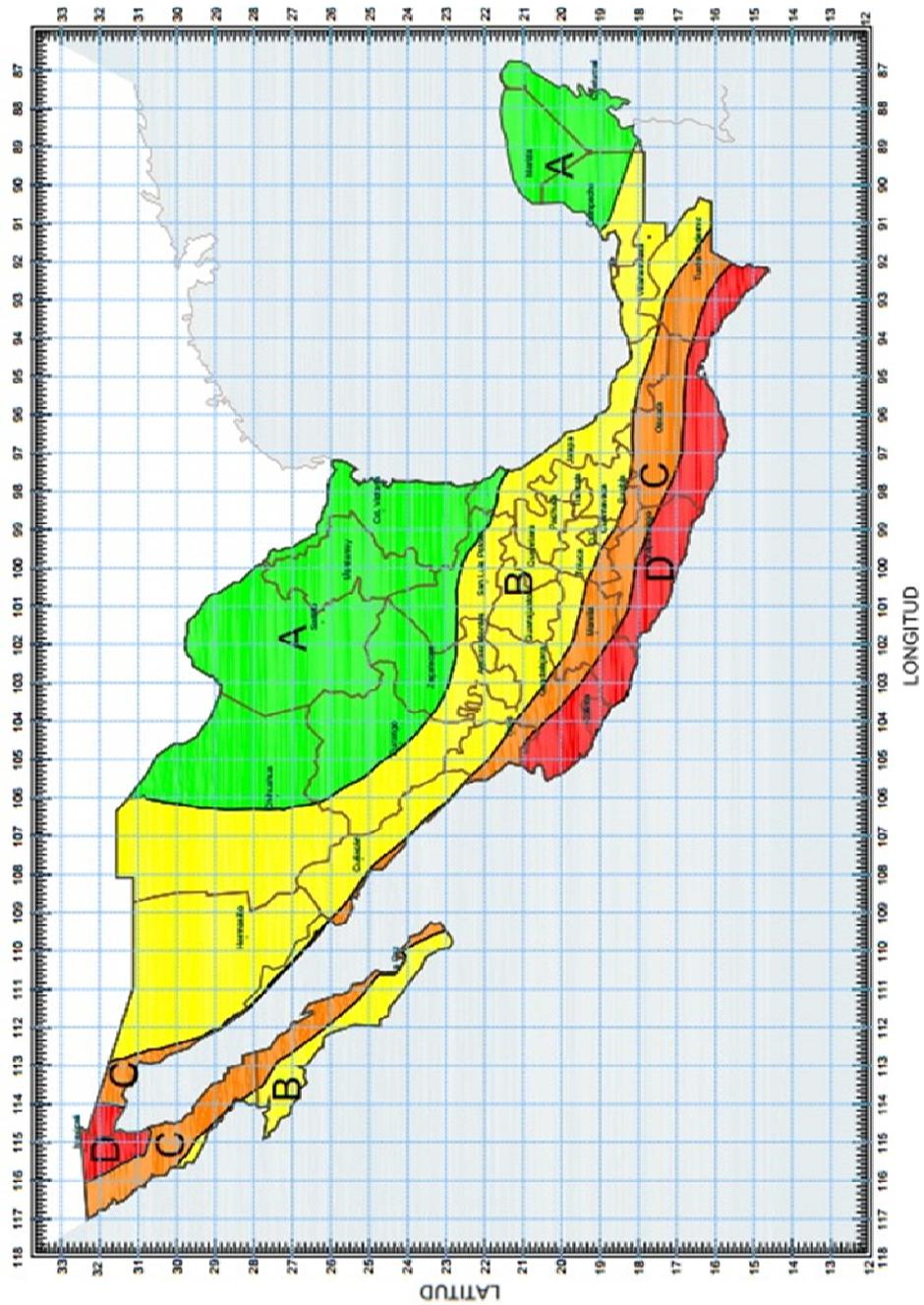
Los soportes sísmicos en un sistema contra incendio son de suma importancia pues un movimiento diferencial incontrolable causado por un terremoto puede causar daños importantes si el sistema contra incendio no está debidamente provisto de antisísmicos, coples flexibles, claros entre piezas o anclaje donde sea necesario.

Básicamente, si la construcción se encuentra dentro de una zona sísmica con un periodo de retorno frecuente, el sistema contra incendio debe protegerse con soportería, claros y anclajes que resistan los movimientos sísmicos para evitar o minimizar los movimientos diferenciales entre piezas, la ruptura de tubería y rociadores por el contacto con miembros estructurales, equipos o tuberías, así como el deslizamiento y el volteo del tanque y el contacto con miembros estructurales, equipos o tuberías, así como el deslizamiento y el volteo del tanque y equipo contra incendio [44].

2.4.12.3 Tipos de soporte antisísmico

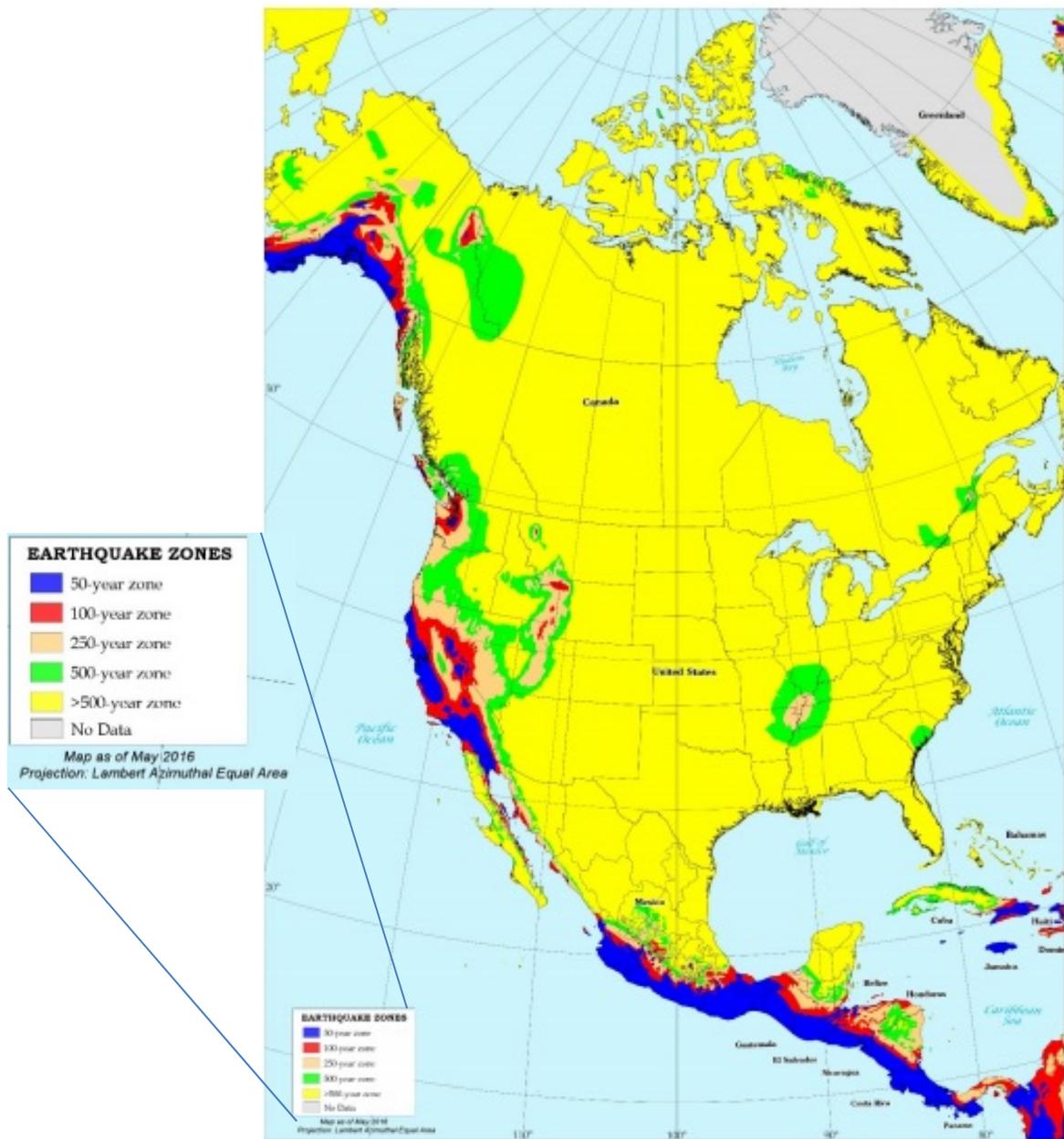
A continuación, se enumeran los tipos de soportería antisísmica más utilizada [92]:

- Soportes de 4 vías: Estos se colocan en la parte superior del riser. Resisten los movimientos laterales y longitudinales además de prevenir los movimientos verticales resultado de los movimientos por sismo.
- Soporte Longitudinal: Este tipo de soporte se coloca a una distancia no mayor de 80 ft. Resiste los movimientos que se producen a lo largo de la tubería que se soporta.
- Soporte Lateral: Se coloca a una distancia no mayor de 40 ft. Resiste los movimientos producidos perpendicularmente a la tubería soportada.



Fuente: Ficha Técnica FMDS 1-02

Figura 2.21 Zonificación Sísmica de México.



Fuente: Ficha Técnica FMDS 2-8

Figura 2.22 Mapa de zonas sísmicas en Norte América

La compañía FM, en la evaluación de diversos incidentes de daño, al respecto de este tipo de soportería, llegaron a dos conclusiones esenciales [94]:

1. Únicamente proporcionando de una manera sistemática, las características necesarias, tales como la incorporación de soportes de cuatro vías, flexibilidad, claros y anclajes donde sea necesario, es posible que un sistema de protección contra incendio este protegido adecuadamente del daño provocado por sismos.
2. La omisión de solo algunos componentes críticos necesarios para la adecuada protección contra sismo, puede resultar en el deterioro del sistema o daño sustancial por el agua. El necesario paro del sistema para frenar el daño por el agua, también crea un deterioro en el sistema contra incendio a largo plazo.

2.5 Tipos de Sistemas Automáticos de Rociadores Contra Incendio

2.5.1 Funcionamiento Básico.

Los sistemas automáticos de rociadores deberán contar con los elementos mínimos descritos en el numeral 2.5 de esta tesis, siguiendo principalmente los requerimientos técnicos solicitados por la normativa correspondiente y la autoridad competente.

Los sistemas de rociadores funcionan, en términos básicos, de la siguiente manera.

El agua proveniente de una fuente de suministro (tanque, cisterna, laguna, etc.), es succionada por una bomba a través de una tubería y es impulsada por la

tubería de descarga hacia el *riser* y el resto del sistema. El sistema de tuberías puede o no, estar presurizado.

Durante un incendio, el calor provocado por el fuego, activa un rociador el cual deja caer un patrón de agua sobre el incendio. Si es suficiente, el fuego quedará controlado, de otra manera, los rociadores contiguos se activarán uno por uno, de la misma manera que el primero, hasta se logre controlar o en otros casos suprimir el incendio.

Al momento que un rociador se activa, el sistema de alarma y bomba detectan una caída de presión en el sistema, lo que permite que arranque la bomba contra incendio de manera automática y proporcione el flujo y la presión necesaria para el funcionamiento de los rociadores, hasta que el incendio quede controlado.

Posteriormente, se apagará la bomba contra incendio, y deberán reponerse los rociadores que se activaron, por dispositivos nuevos. Inmediatamente, se deberán seguir los lineamientos de puesta en marcha del sistema contra incendio, de tal manera que la edificación quede sin protección el menor tiempo posible para evitar catástrofes por fuego.

Los sistemas de rociadores automáticos están diseñados para funcionar durante las primeras etapas del desarrollo de un incendio y minimizar el impacto total del incendio. Además, la mayoría de los sistemas están provistos de una alarma de flujo de agua que puede notificar automáticamente al cuerpo de bomberos cuando se activa el sistema de rociadores. Aunque muchos sistemas suprimen o incluso extinguen un incendio, se anticipa que en la mayoría de los casos el cuerpo de bomberos o brigada contra incendios extinguirá un incendio por completo [5].

2.5.2 Tipos de Sistemas de Rociadores.

La mayoría de los sistemas de rociadores pertenecen a una de cuatro categorías. Estas incluyen: (1) de tubería húmeda, (2) de tubería seca, (3) de pre-acción y (4) diluvio, siendo el de tubería húmeda el más común. La necesidad de usar un tipo de sistema en lugar de otro depende de las condiciones del medio ambiente en el que se utilizará el sistema y la naturaleza del espacio que está siendo protegido [5].

Sistema de tubería húmeda: Este tipo de sistema es el más fácil de diseñar e instalar y el que es más sencillo de mantener. Los sistemas de tubería húmeda contienen agua bajo presión en todo momento y utilizan una serie de rociadores cerrados. Cuando ocurre un incendio y este produce una cantidad suficiente de calor para activar uno o más rociadores, el agua se descarga inmediatamente desde los rociadores abiertos, desde la fuente de abastecimiento de agua. Los sistemas de tubería húmeda deben ser la primera elección de los diseñadores e instaladores porque inherentemente son más confiables y menos costosos de mantener [5]. Sin embargo, este tipo de sistema se recomienda principalmente donde no existe la posibilidad de congelamiento [95].

Sistema de tubería seca: Es similar al sistema de tubería húmeda, excepto que el agua no se encuentra en la red de tuberías, sino que se mantiene detenida por una válvula especial de tubería seca. La válvula se mantiene cerrada por la presión del aire o nitrógeno que se encuentra en el sistema de tuberías. La operación de uno o más rociadores permitirá que la presión del aire escape, ocasionando la operación de la válvula seca, la cual permitirá entonces, que el agua fluya dentro de la tubería hacia el rociador suprimiendo el fuego. El sistema de tubería seca es utilizado donde el agua en la tubería está sujeta al congelamiento [96].

Sistema de Pre-Acción: Como en el sistema de tubería seca, la tubería del sistema de pre-acción está cargada de aire bajo presión en vez de agua. Sin

embargo, la presión de agua asociada con el sistema de pre-acción es generalmente inferior a la de los sistemas de tubería seca. La válvula de pre-acción retiene al abastecimiento de agua. El sistema está equipado con un sistema de detección suplementario. El funcionamiento del sistema de detección permite que la válvula de pre-acción se abra automáticamente y admita el ingreso de agua al interior la red de tubería. El agua no se descarga desde el sistema hasta que se ha generado un incendio con una cantidad de calor suficiente para hacer que se activen uno o más rociadores. En esencia, el sistema es aparentemente como un sistema de tubería húmeda en cuanto se acciona la válvula de pre-acción [5].

La presión de agua que se mantiene en la tubería es utilizada para supervisar la integridad del tubo. Si el tubo desarrolla un escape, la presión de aire cae y sonará una alarma, indicando una condición de baja presión de aire. Como el agua esta retenida con la válvula de pre-acción en vez de una válvula de tubo seco, el agua no entrara en el sistema hasta que el sistema de detección de incendios suplementario se active, enviando una señal a la válvula de acción previa para que se abra. La válvula de pre-acción permanece en su posición normal hasta que se activa el sistema de detección. Una variación del sistema de pre-acción estándar o de *interlock* es el sistema de pre-acción de *doble interlock*. Los sistemas de preacción normalmente se encuentran en espacios que contienen equipos de computación o de comunicaciones, en museos y en otras instalaciones donde un goteo inesperado de agua desde la tubería del sistema sea muy preocupante. El sistema de *doble interlock* es el más común en las instalaciones de congelamiento donde el funcionamiento accidental de una válvula puede dar como resultado el congelamiento casi inmediato y el daño de la tubería del sistema [5].

Sistema de Diluvio: Es uno de los que no utiliza rociadores automáticos, pero si rociadores abiertos. Una válvula especial de diluvio mantiene el agua fuera del sistema de tuberías y se activa por la detección de un sistema de alarmas por separado. Cuando se activa, la válvula de diluvio permite que el agua fluya dentro

de la tubería y simultáneamente descarga por todos los rociadores abiertos. Los sistemas de diluvio son utilizados en lugares donde el fuego puede esparcirse rápidamente, y la zona de riesgo es muy alta [96], tal es el caso de hangares, tanques de almacenamiento de fluidos peligrosos.

2.6 Hidráulica para Protección Contra Incendios.

La hidráulica es una sub-aplicación de la mecánica de fluidos que trata con el flujo de agua. La hidráulica aplicada a protección de incendios, involucra el flujo de agua a través de tuberías, válvulas, accesorios y orificios tales como salidas de hidrantes, boquillas y rociadores [5].

Los cálculos en la ingeniería, tienen un mejor desempeño en áreas donde existe un entendimiento como la relación entre parámetros. Este, no es el caso con la tecnología de los sistemas de rociadores automáticos. Los métodos de cálculo son ampliamente utilizados considerando únicamente un aspecto del sistema de rociadores: el agua fluyendo a través de una tubería [96].

En este capítulo, se tratará las fórmulas hidráulicas básicas para desarrollar un cálculo de un sistema automático contra incendio, a base de agua.

2.6.1 Propiedades Físicas del Agua.

Densidad: Definida como la masa por unidad de volumen, la cual varía con la temperatura. Y se expresa con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

La densidad máxima del agua ocurre a 39,2° F (4.0° C) y es de 62,43 lbm (Libras masa) por pie cubico o 1000 kg/m³ (kilogramos por metro³) en vacío o 62,35 lbm/ft³ (998,7 kg/m³) en aire. Para la mayoría de los cálculos hidráulicos, es usualmente usado un valor aproximado de 62,4 lbm por pie cubico (1000 kg/m³).

Peso específico: Definido por la acción de la gravedad sobre un cuerpo en base a su densidad. Medidos en lbf/ft³ (libra fuerza/ft³) o kgf/m³ (kilogramo fuerza/m³).

$$w = \rho g$$

Considerando que la lbm, tiene un peso de una lbf bajo gravedad estándar, similar a lo que sucede con el SI, se considerara que lb se refiere a lbf y kg a kgf, como es común en la práctica de ingeniería.

De este modo, se tiene que el peso específico del agua, es de 64.4 lb/ft³ o 1000 kg/m³.

Viscosidad: Es la resistencia de un fluido a circular. Es medida en lb•s/ft² (libra por segundo/ft²) o N•s/m² (Newton por segundo sobre m²). Al igual que la densidad, la viscosidad de un fluido varía con la temperatura. El agua tiene una viscosidad absoluta de $\mu = 3\,746 \times 10^{-5}$ lb•s/ft² (1793×10^{-5} N•s/m²).

En problemas hidráulicos, la viscosidad es generalmente dividida entre la densidad. Esta viscosidad relativa, se le llama viscosidad cinemática, ν , se define como:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Mientras la viscosidad es un factor importante en la circulación de fluidos, la mayoría de las aplicaciones hidráulicas en protección de incendios asumen agua a condiciones ambientales y las formulas empíricas normalmente usadas para calcular perdidas no tienen en cuenta los cambios en la viscosidad.

2.6.2 Presión.

La presión p , es la unidad para medir la fuerza por compresión por unidad de área de un fluido. En la hidráulica de protección contra incendios generalmente es medida en libra por pulgada cuadrada (psi), kilo-Pascales (kPa) o como metros columna de agua (m).

Para flujo en tuberías, la presión total, P_t , es la suma de la presión normal P_n y la presión de velocidad P_v .

$$P_t = P_n + P_v$$

La presión normal, es la presión ejercida contra el costado de una tubería o recipiente por el líquido en tal tubería con o sin flujo.

Sin flujo, la presión es llamada “presión estática”, con flujo se denomina “presión residual”.

La presión ejercida por una columna de agua está relacionada con su peso específico. Expresado así, el peso específico es:

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

Esa presión y la cabeza estática están relacionadas por la formula siguiente:

$$p = w \cdot h = 0.433h$$

$$h = \frac{p}{w} = \frac{p}{0.433} = 2.31p$$

La presión de velocidad, es la producida en una masa de agua por una presión que actúa sobre ella, y se representa por la ecuación de Torricelli:

$$v = \sqrt{2gh}$$

Dónde:

v = velocidad producida en ft/s (m/s).

g = aceleración por la gravedad igual a 32.2 ft/s² (9.81 m/s²).

h = la cabeza en ft (m).

De esta manera, si:

$$P_v = 0.433 h_v$$

La presión de velocidad puede ser expresada como:

$$0.433 \frac{v^2}{2g} \text{ (psi)}$$

2.6.3 Teorema de Bernoulli.

El teorema de Bernoulli expresa la ley física de conservación de energía aplicada a problemas de flujo de fluido incompresible. El teorema puede ser definido como sigue: "En flujo estable sin fricción, la suma de la cabeza de velocidad, cabeza de presión y cabeza de elevación es constante para cualquier partícula de fluido incompresible a lo largo de su curso". En otras palabras, la presión total (cabeza) es la misma en todas las ubicaciones dentro del sistema [5]. Expresado matemáticamente el teorema de Bernoulli es:

$$\frac{v_A^2}{2g} + \frac{p_A}{w} + Z_A = \frac{v_B^2}{2g} + \frac{p_B}{w} + Z_B + h_{AB}$$

Dónde:

v = velocidad en ft/s (m/s).

g = aceleración por gravedad igual a 32.2 ft/s² (9.81 m/s²).

p = presión en lb/ft² (kPa).

z = cabeza de elevación, en ft (m).

w = peso específico del fluido en lb/ft³ (64.4 lb/ft³ o 9.81 kN/m³ para agua)

Además, se tiene que:

$\frac{v^2}{2g}$ = cabeza de velocidad en ft. (m)

$\frac{p}{w}$ = cabeza de presión en ft. (m)

h_{AB} = pérdida de cabeza entre el punto A y el punto B en ft. (m).

2.6.4 Caudal a través de Orificios.

Cuando un fluido descarga a la atmosfera a través de un conducto a través de un orificio, la presión normal se convierte en presión de velocidad.

Si se asume que el chorro es una corriente sólida que llena el tamaño total del orificio de descarga y el cien por ciento de la cabeza total disponible es convertida en cabeza de velocidad, se tiene que la fórmula para expresarlo es:

$$Q = 29.84 d^2 \sqrt{p_v}$$

Sin embargo, esto considera dos condiciones no son totalmente alcanzables, y representa una situación teórica.

En la representación real de la descarga, deberán intervenir coeficientes de velocidad, los cuales son determinado en pruebas de laboratorio y coeficientes de contracción donde se aplica en algunas boquillas diseñadas de tal manera que el área seccional de la corriente es menor al área seccional del orificio. De esta forma, los coeficientes de velocidad y contracción son combinados como un coeficiente individual de descarga.

$$c_d = c_v c_c$$

Considerando lo anterior, la fórmula para el cálculo del flujo a través de un orificio se expresa como:

$$Q = 29.84 c_d^4 d^2 \sqrt{p_v}$$

En base a la ecuación anterior, el flujo a través de una boquilla, considerando la presión del sistema, se define como:

$$Q = \frac{29.84 c d^2 \sqrt{p_1}}{\sqrt{1 - c^2} \left(\frac{d}{D}\right)^4}$$

Dónde:

Q = flujo en gpm

c = coeficiente de descarga

d = diámetro de salida (in).

p₁ = presión manométrica en la base de la boquilla (psi).

D = diámetro interno del accesorio al cual está fijado el manómetro (in).

Para simplificar los cálculos para un orificio o boquilla específicos, las constantes en la fórmula de flujo pueden ser combinadas, reduciendo la formula a:

$$Q = k\sqrt{p}$$

Donde *k* combina las constantes 29.84, *c_d* y *d*². Los factores *k* de algunos orificios de descarga comunes usados en protección contra incendios, pueden ser

encontrados en fichas técnicas del fabricante, así como algunos estándares como el NFPA 13.

A partir de la formula anterior, se obtiene la fórmula del factor K, tal como lo señala el estándar 13, en el punto 23.4.2.5:

$$K_n = \frac{Q}{\sqrt{P}}$$

Donde:

K_n = K equivalente en el nodo.

Q= flujo en el nodo

P= presión en el nodo.

2.6.5 Flujo de agua en Tuberías.

El flujo en tuberías involucra la continuidad de la energía (Teorema de Bernoulli con fricción) y continuidad de flujo.

Al fluir agua en una tubería, se tiene una caída de presión. La pérdida de cabeza entre dos puntos es causada primeramente por la fricción entre el agua en movimiento y la pared de la tubería; y por la fricción entre las partículas de agua, incluyendo las producidas por la turbulencia cuando se tiene un cambio de dirección en el flujo o cuando hay un incremento o decremento de velocidad, tal como sucede en los cambios abruptos de diámetro en tubería. Este cambio de velocidades resulta en alguna conversión de cabeza de velocidad a cabeza de presión o viceversa.

Es bajo estos términos que entran los conceptos de flujo laminar y turbulento. El flujo de una tubería lisa o áspera permanece laminar hasta que la velocidad alcanza la llamada velocidad crítica. En este punto, hay un rango de flujo inestable el cual no es ni laminar ni completamente turbulento. Esta es llamada zona de transición. Como el flujo continúa incrementándose, se torna turbulento. En flujo turbulento, el fluido se mueve en una masa remolinante y en

cualquier punto, las partículas individuales de agua se trasladan rápidamente de un modo al azar antes que en línea recta.

Reynolds demuestra que para cualquier flujo, el punto crítico al cual el flujo cambia de laminar a turbulento podría ser predicho. En tuberías circulares, el punto crítico ocurre cuando el parámetro de menor dimensión dp/μ (llamado número de Reynolds) es aproximadamente 2000. La transición a turbulencia completa es consumada para números de Reynolds que exceden 4000.

La mayoría de los sistemas de protección contra incendio y distribuciones principales de agua funcionan bajo condiciones de flujo turbulento y pérdidas por fricción dentro de la tubería misma contabilizadas por la mayoría de las pérdidas de cabeza. Otras pérdidas son usualmente consideradas juntas y son llamadas pérdidas menores o pérdidas en accesorios.

2.6.5.1 Flujo por Pérdidas por Fricción.

La información experimental ha establecido que la resistencia a la fricción en tuberías es:

1. Independiente de la presión de la tubería.
2. Proporcional a la cantidad y carácter del flujo.
3. Variable con la rapidez del flujo (casi proporcional a la segunda fuerza de la velocidad más allá de la crítica; si la velocidad está por debajo de la crítica, la resistencia varia con la primera

En la hidráulica, las fórmulas para el cálculo de pérdidas por fricción más conocidas y utilizadas son: la fórmula de Chezy, relacionada con la velocidad; la fórmula de Darcy-Weisbach aplicable a tuberías largas, rectas de diámetro uniforme y de superficie áspera apropiada para todos los fluidos Newtonianos (donde la viscosidad es constante a una temperatura específica, sin

consideraciones de presión y tasa de corte) y es una variación de la fórmula de Chezy; y la formula de Hazen-Williams.

En la hidráulica para protección contra incendios, las fórmulas de fricción flujo, han sido desarrolladas por la experimentación y la experiencia. La fórmula más popular es la de Hazen-Williams. Los coeficientes de fricción son constantes para una rugosidad específica de tubería e independientes de la velocidad de modo que la precisión de estas fórmulas es variable. Sin embargo, los valores fijos generalmente asumidos para viscosidad y densidad con son considerados adecuados para la mayoría del trabajo hidráulico de protección contra incendios.

El estándar de NFPA 13 [9], señala que las pérdidas por fricción deberán determinarse mediante la fórmula de Hazen-Williams:

Para cálculos en el sistema inglés, la formula se expresa de la siguiente manera:

Para cálculos en unidades del sistema inglés:

$$p = \frac{4.52Q^{1.85}}{C^{1.85}d^{4.87}}$$

Para cálculos en el sistema internacional de unidades:

$$p = 6.05 \left(\frac{Q^{1.85}}{C^{1.85}d^{4.87}} \right) 10^2$$

Donde, para ambas fórmulas:

p= resistencia a la fricción en psi/ft de tubería (bar/m de tubería).

Q = flujo en gpm (L/min)

C= coeficiente de pérdida por fricción.

d= diámetro interno de la tubería en in. (mm).

Mientras que FM, señala que la fórmula de Hazen-Williams, es la más utilizada para realizar los cálculos para sistemas contra incendio, sin embargo, es posible utilizar formulas desarrolladas por Chezy, Darcy, Weisbach, Fanning, Reynolds y otros.

De esta manera, la mayoría de los programas de diseño para sistemas contra incendio, utilizan la fórmula de Hazen-Williams para realizar sus cálculos.

2.6.5.2 Pérdidas menores.

Mientras la pérdida por fricción dentro de la tubería normalmente cuenta para la mayoría de las pérdidas de cabeza, estas también ocurren cuando el flujo en una tubería cambia de dirección, tamaño o son encontrados una válvula u otro accesorio. Estas pérdidas son típicamente referidas como perdidas menores aunque ellas puedan ser significativas para algunos accesorios.

Las pérdidas menores de accesorios más comunes son: la longitud equivalente (L/d), el coeficiente de resistencia (k) o un coeficiente de flujo (C_v).

Longitud Equivalente: Para la mayoría de los cálculos en protección de incendios, la pérdida por fricción es obtenida por uso del método de longitud equivalente de una tabla, la cual expresa la pérdida por fricción del accesorio como una "longitud de tubería equivalente" que tiene la misma pérdida por fricción que el accesorio. Esta longitud es entonces agregada a la longitud de la tubería a la cual el accesorio está conectado para obtener la pérdida por fricción total de la tubería y accesorios.

Este dato, es proporcionado por el fabricante de los accesorios o de otra manera puede consultarse la tabla de longitudes equivalentes proporcionada por NFPA13, Fichas técnicas de FM, libros de texto y otros, para accesorios de distintos diámetros.

Coefficientes de resistencia: Los coeficientes de resistencia son algunas veces usados para expresar la pérdida de cabeza en un accesorio como una función de velocidad en concordancia con la relación:

$$h_f = k \frac{v^2}{2g}$$

La longitud equivalente y los métodos de coeficiente de resistencia están relacionados. Utilizando la formula básica de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = k \frac{v^2}{2g}$$

O:

$$k = f \frac{l}{d}$$

La mayoría de las pérdidas de entrada son calculadas usando coeficientes de resistencia.

Coefficientes de Flujo: La pérdida en un accesorio es definida por un coeficiente de flujo C_v , el coeficiente es definido como el flujo de agua que producir una pérdida por fricción conocida (usualmente 1 psi) a través del accesorio. La relación es usualmente conocida como:

$$Q = C_v \sqrt{h}$$

Relacionando el coeficiente de flujo con el coeficiente de resistencia, para d en pulgadas y C_v en gpm/ $\sqrt{\text{psi}}$, la fórmula es normalmente expresada como:

$$C_v = \frac{29.9 d^2}{\sqrt{k}}$$

El cálculo hidráulico para protección contra incendios se basa en las formulas antes mencionadas. Los software de cálculo especializados en el área de sistemas de rociadores, cuentan con algoritmos complejos los cuales permiten realizar iteraciones para encontrar soluciones en redes complejas.

CAPITULO 3: DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATICO DE ROCIADORES.

3.1 Clasificación del Inmueble

Para ejemplificar el desarrollo de un diseño para un sistema de rociadores, se considerará una nave industrial típica dedicada a la elaboración de plásticos, la cual cuenta con diversas áreas, las cuales se describen a continuación:

- Área de Oficinas [15 000 ft² (1393.5 m²)].
- Área de Manufactura [200 000 ft² (18 580 m²)].
- Área de Mantenimiento [8 000 ft² (743.22 m²)].
- Área de Almacén de piezas de plástico [5 000 ft² (464.5 m²)].

La nave industrial cuenta con una altura libre de 31.5 ft (9.60 m). Y la temperatura máxima de cubierta es de 100 °C.

Es importante observar e identificar adecuadamente el uso de cada área y si se pretende o no cambiar el giro de actividades de alguna zona, por ejemplo, si en un futuro próximo el área de oficinas se volverá un archivo o cuarto para equipo de cómputo. Es indispensable que el ingeniero de proyectos identifique la existencia de zonas de almacén, residuos peligrosos, cuartos fríos y áreas especiales dentro del proyecto.

Para continuar con el desarrollo del proyecto, la primera pregunta que se debe realizar al cliente es ¿dentro de que marco regulatorio se desarrollará el proyecto de rociadores?

La importancia de esta pregunta, radica en los parámetros que se deben seguir para plantear los criterios de diseño adecuados, dentro de la normativa que se exija.

3.2 Clasificación de Riesgo.

El riesgo deberá definirse a partir de la norma que se defina en principio. A continuación, se describirá las clasificaciones debido a la NFPA 13, FM y NOM-002-STPS-2010.

3.2.1 De acuerdo a la NOM-002-STPS-2010

De acuerdo a la tabla 2.2, el riesgo de incendio para las áreas es el siguiente:

Tabla 3.1 Clasificación de Riesgo de acuerdo a la NOM-002-STPS-2010, por superficie construida.

ZONA	AREA (m²)	RIESGO POR NOM-002
Oficinas	1 393.5	Ordinario
Manufactura	18 580	Alto
Mantenimiento	743.22	Ordinario
Almacén	464.5	Ordinario

Se observa de la tabla anterior, que el riesgo mayor es el de manufactura, por contar con la mayor área de construcción. Mientras que el resto de las áreas, son de riesgo ordinario.

3.2.2 De acuerdo al estándar NFPA 13

Recordemos que NFPA 13, clasifica las áreas en base a la ocupación y actividades desempeñadas en la misma. Con base en la figura 2.3, la clasificación correspondiente a cada área es la que se muestra a continuación:

Tabla 3.2 Clasificación de Riesgo de acuerdo a NFPA 13 edición 2016

ZONA	RIESGO
Oficinas	Ligero
Manufactura	Extra Ordinario Grupo 2 (EH2)
Mantenimiento	Ordinario Grupo 2 (OH2)
Almacén*	Clase A

** Riesgo por almacenamiento están fuera del alcance de esta tesis. Para efectos de ejercicio, se asigna una clasificación para plásticos Clase A.*

De la tabla anterior, se observa que el área de almacén cuenta con el mayor riesgo, por contener materiales de plástico. Es importante señalar que para clasificar un almacén, es necesario determinar diversos factores tales como el tipo de material almacenado, altura de almacenamiento, sobre que material está colocado el producto (pallets de madera, plástico, el suelo, racks, etc.).

3.2.3 De acuerdo a FM Ficha Técnica 3-26.

Tabla 3.3 Clasificación de Riesgo de acuerdo a FM 3-26

ZONA	RIESGO
Oficinas	HC-1
Manufactura	HC-3
Mantenimiento	HC-2
Almacén*	UP

Riesgo por almacenamiento están fuera del alcance de esta tesis. Para efectos de ejercicio, se asigna una clasificación para plásticos UP de acuerdo a FMDS-8-0.

De la tabla anterior se concluye que al igual que para NFPA 13, la clasificación mayor es para el área de almacén, por la cualidad de contener material altamente inflamable. Para realizar una clasificación de ocupación con base a FM, es necesario disponer de mayor información de las actividades que se desarrollan en el inmueble.

3.2.4 Tabla Comparativa para la Clasificación de Riesgo de acuerdo a NOM-002, NFPA 13 Y FMDS 3-26.

Tabla 3.4 Tabla comparativa para la Clasificación de Riesgo.

ZONA	NOM-002-STPS-2010	NFPA 13	FMDS-3-26
Oficinas	Ordinario	Ligero	HC-1
Manufactura	Alto	Extra Ordinario G2	HC-3
Mantenimiento	Ordinario	Ordinario G2	HC-2
Almacén*	<i>Ordinario</i>	<i>Clase A</i>	<i>UP</i>

** Riesgo por almacenamiento están fuera del alcance de esta tesis. Para efectos de ejercicio, se asigna una clasificación para plásticos*

De la tabla 3.4, se concluye que existe una semejanza entre la clasificación de riesgo entre NFPA 13 y FMDS 3-26, pues ambos basan el riesgo del inmueble o zona de la propiedad en las actividades y materiales desarrollados en el interior.

Por su parte, la NOM, enfatiza en el área de construcción de la zona a proteger, ciertamente, la norma oficial, cuenta con una clasificación de riesgo en base al inventario de productos químicos o gases, sin embargo, esta información muchas veces es inexistente o es difícil de calcular si se trata de maquinaria o equipo en funcionamiento o inventario variable de productos inflamables.

El basar una clasificación de riesgo en el área de construcción del predio, podría no ser la mejor opción. Por ejemplo, si un predio cuenta con un área amplia donde se almacenan jarrones de vidrio y porcelana; y un área menor donde se almacenan cajas de cartón y piezas de polietileno para empaque, entonces bajo la NOM, el riesgo más alto correspondería al almacén de jarrones. Sin embargo, el riesgo de incendio es mucho mayor en el área de cajas y polietileno, por el material almacenado.

3.3 Determinación de Densidades de Flujo para Rociadores.

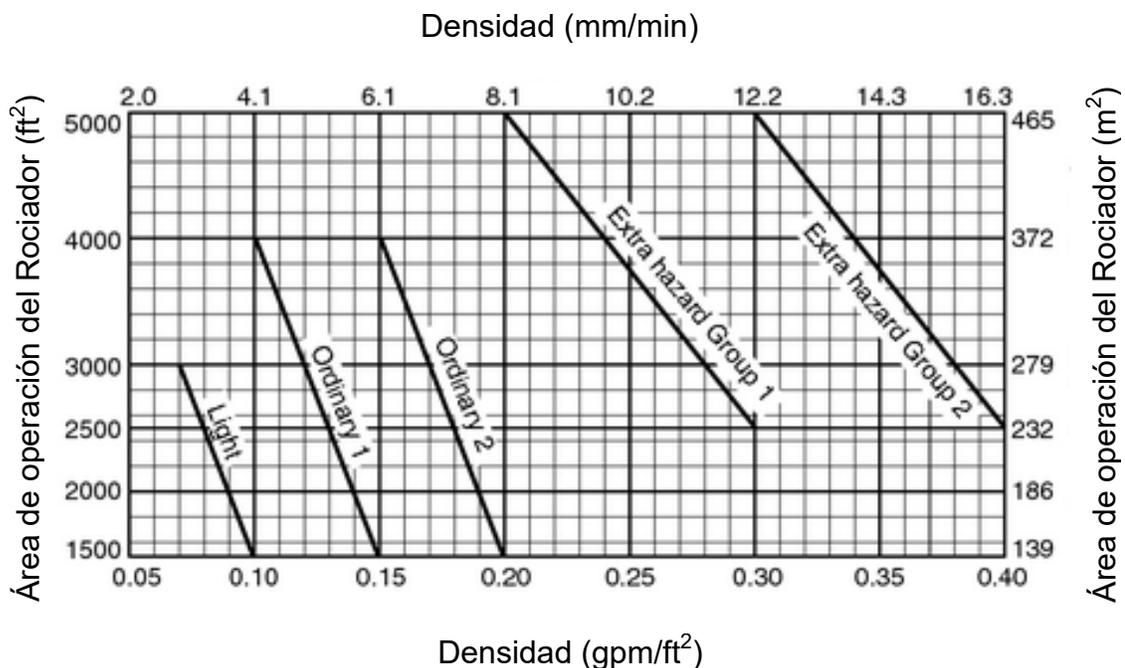
La NOM-002-STPS-2010, no cuenta con información para determinar el flujo requerido para rociadores. Por lo que este numeral, se enfoca en lo señalado bajo el estándar 13 de NFPA y la hoja técnica 3-26 de FM

La densidad de flujo para el sistema de rociadores, es el flujo de descarga del aspersor en gpm (L/min) en un área de un pie cuadrado (m^2). Y está definida por el riesgo de la zona a proteger.

3.3.1 Densidad de Flujo por NFPA 13.

El método utilizado es el denominado “*Density/Area Method*”, donde a partir de la selección en las curvas de área/densidad, las cuales están basadas en el riesgo previamente establecido, se obtiene la densidad adecuada.

Gráfica 3.1 Curvas de Área/Densidad por NFPA 13.



De acuerdo a la gráfica anterior y a la tabla 3.2 a cada área le correspondería la siguiente densidad:

Tabla 3.5 Densidades de acuerdo a NFPA 13.

ZONA	RIESGO	DENSIDAD (gpm/ft²)/ft²
Oficinas	Ligero	0.10/1500
Manufactura	Extra Ordinario Grupo 2 (EH2)	0.40/2500
Mantenimiento	Ordinario Grupo 2 (OH2)	0.20/1500

El área de almacén está fuera del alcance ya que el flujo para este tipo de zonas, se obtiene por otros métodos, a partir de distintas consideraciones.

3.3.2 Densidad de Flujo por FM DS-3-26.

La ficha técnica de FM, para ocupaciones sin almacenamiento, indica de acuerdo a la tabla 3.6, algunas densidades las cuales dependen de tres factores:

- La categoría de riesgo de la zona a proteger.
- La altura de la construcción o área a proteger.
- Si el sistema es tipo húmedo o seco.

Recordemos que el diseño se realizara para un sistema húmedo de rociadores donde los riesgos para este ejemplo han sido establecidos según lo expuesto en la tabla 3.3. La altura de la construcción se ha definido en un principio como h=31.5 ft (9.6 m). La tabla 3.7 muestra las densidades correspondientes a las áreas planteadas para este ejemplo.

Tabla 3.6 Demanda para el diseño de Rociadores por Categoría de Riesgo, de acuerdo a FMDS 3-26.

Categoría de Riesgo	Demanda de Diseño para Rociadores (gpm/ft ²)/ft ² (mm/min)/m ²					
	Altura de cubierta hasta 30 ft (9 m)		Altura de cubierta de 30 a 60 ft (9 a 18 m)		Altura de cubierta de 60 a 100 ft (18 a 30 m)	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
HC-1	0.1/1500 (4/140)	0.1/1500 (4/140)	0.2/2500 (8/230)	0.2/3500 (8/330)	Ver tabla 2a de FMDS3-26	No es opción
HC-2	0.2/2500 (8/230)	0.2/3500 (8/330)	0.2/2500 (8/230)	0.2/3500 (8/330)	Ver tabla 2a de FMDS3-26	No es opción
HC-3	0.3/2500 (12/230)	0.3/3500 (12/330)	0.5/3000 (20/280)	0.5/4000 (20/370)	Ver tabla 2a de FMDS3-26	No es opción

Tabla 3.7 Densidades de acuerdo a FMDS 3-26

ZONA	RIESGO	DENSIDAD (gpm/ft ²)/ft ²
Oficinas*	HC-1	0.10/1500*
Manufactura	HC-3	0.50/3000
Mantenimiento	HC-2	0.20/3500

* Considerando que las oficinas cuentan con una altura menor a los 30 ft (9 m).

3.3.3 Tabla Comparativa para obtención de Densidades de Diseño para Rociadores de acuerdo a NOM-002, NFPA 13 Y FMDS 3-26.

Tabla 3.8 Tabla comparativa por normativa para la Obtención de Densidades de Diseño.

ZONA	Densidades de Diseño en (gpm/ft²)/ft²		
	De acuerdo a:		
	NOM-002-STPS-2010	NFPA 13	FMDS-3-26
Oficinas	Sin información	0.10/1500	0.10/1500
Manufactura	Sin información	0.40/2500	0.50/3000
Mantenimiento	Sin información	0.20/1500	0.20/3500

Se observa de la tabla 3.8 que en comparación con NFPA, FM es más conservador en cuando al flujo requerido por área y considera un factor adicional para este tipo de diseños, que es la altura de la zona a proteger.

3.4 Determinación del Flujo de Mangueras para un Sistema de Rociadores de acuerdo al riesgo de incendio.

Las mangueras contra incendio, tienen distinta importancia según la normativa que se consulte.

Las normas mexicanas, incluyendo la Norma Técnica Complementaria, da prioridad a la colocación de un sistema de mangueras antes que a un sistema de rociadores. Sin embargo, no se plantea un diseño en base al riesgo de incendio.

La NFPA 13, considera las mangueras como un complemento al sistema de rociadores y cuenta con un estándar independiente para la instalación de este tipo de dispositivos que es el NFPA 14.

3.4.1 De acuerdo a NFPA 13.

La tabla 3.9, muestra la demanda de agua que deberá agregarse debidas a las mangueras contra incendio y el tiempo de funcionamiento de este equipo, en base a la ocupación.

Tabla 3.9 Requerimientos de la demanda de agua para Mangueras por NFPA 13

Ocupación	Flujo para Mangueras		Duración
	Gpm	L/min	(minutos)
Ligero	100	380	30
Ordinario	250	950	60 – 90
Extra Ordinario	500	1900	90 -120

El estándar 13, en el punto 11.2.3.1.3, menciona que los valores mínimos de duración se permitirán siempre y cuando los dispositivos de alarma de flujo y de supervisión del sistema se encuentren eléctricamente supervisados y dicha supervisión sea monitoreada desde una ubicación aprobada y atendida constantemente.

Además, como responsables del diseño de un proyecto contra incendio, es importante consultar estos datos con la autoridad con jurisdicción del lugar, tal como lo es el Departamento de Bomberos, pues las condiciones y los tiempos de respuesta para varían por zonas y ciudades.

3.4.2 De acuerdo a FMDS-3-26.

Tabla 3.10 Requerimientos de Demanda y duración para mangueras por FMDS 3-26

Categoría de Riesgo	Demanda para Mangueras, gpm (L/min)		Duración (min)
	Cubiertas bajo los 60 ft (18 m)		
HC-1	250 (950)		60
HC-2	250 (950)		60
HC-3	500 (1900)		90

3.4.3 Tabla comparativa para la duración y demanda de agua de Mangueras para Sistemas de Rociadores.

Con base en las tablas 3.2, 3.3, 3.9 y 3.10, se presenta la tabla 3.11, donde se muestra la demanda de agua requerida por NFPA y FMDS3-26.

3.11 Tabla comparativa por área para la duración y demanda de agua de Mangueras para Sistemas de Rociadores.

ZONA	Demanda para Mangueras, gpm			
	De acuerdo a:			
	NFPA 13		FM DS 3-26	
	gpm	min	gpm	min
Oficinas	100	30	250	60
Manufactura	500	120	500	90
Mantenimiento	250	90	250	60

3.5 Obtención del Criterio de Diseño.

El criterio de diseño, es el punto clave para el desarrollo de los cálculos hidráulicos. Se compone principalmente de la densidad, el flujo para mangueras y la duración de este.

A partir de los criterios de diseño, se dimensiona el suministro de agua y la capacidad de la bomba contra incendio.

Los puntos anteriores, muestran cada paso como llegar al desarrollo del criterio de diseño por dos vías: la de NFPA y la de FM.

La decisión de diseñar bajo el marco regulatorio de una u otra normativa, dependerá en primera instancia de las autoridades con jurisdicción sobre el tema y de las condiciones bajo las cuales la nave industrial o la compañía trabajen. Esto debido a que diversas empresas se encuentran aseguradas por Factory Mutual, y son ellos quienes exigen el diseño en base a lo estipulado por sus fichas técnicas.

Para el ejemplo presente suponemos que la nave industrial no se encuentra bajo la regulación de FM, sin embargo, requieren un sistema de rociadores funcional y eficiente. De esta manera, con base en las tablas 3.4, 3.8, 3.11 y 3.14 se obtienen los criterios de diseño para las áreas de oficina, manufactura y mantenimiento tal como lo muestra la tabla 3.12.

Tabla 3.12 Criterios de Diseño bajo lo establecido por el estándar NFPA 13.

Área	Riesgo	Densidad (gpm/ft ²)/ft ²	Flujo para Mangueras (gpm)	Duración (min)	Factor K de los rociadores.
Oficinas	Ligero	0.10/1500	100	30	5.6
Manufactura	EH2	0.40/2500	500	120	11.2
Mantenimiento	OH2	0.20/1500	250	90	8.0

3.6 Cálculo de la demanda de Agua para el Sistema.

El cálculo de la demanda de agua para el sistema contra incendio, nos permite dimensionar el tanque o cisterna, donde la demanda de agua la determina el área que requiera mayor suministro.

La ecuación para calcular la demanda de agua del sistema de rociadores, a partir del método de área/densidad, se expresa a continuación.

$$Demanda = [(Densidad \cdot AOR) + (Flujo \text{ por Gabientes})] \cdot (Duración) \text{ Ec.3}$$

Dónde:

Densidad, en gpm/ft².

Flujo por Gabientes, en gpm.

Duración, en min.

AOR = Área de Operación del Rociador, en ft².

De esta manera aplicando la ecuación 3, se tiene que para cada área la demanda de agua es la siguiente:

Tabla 3.13a Demanda de Agua para el Sistema de Rociadores, por Área, por NFPA 13.

Área	Densidad (gpm/ft ²)	AOR ft ²	Flujo para Mangueras (gpm)	Duración (min)	Demanda de Agua gal
Oficinas	0.10	1500	100	30	7 500
Manufactura	0.40	2500	500	120	180 000
Mantenimiento	0.20	1500	250	90	49 500

A manera de ejemplo, se realiza un cálculo de la demanda de agua conforme a lo estipulado por FM, los resultados se muestran en la tabla 3.13b.

Tabla 3.13b Demanda de Agua para el Sistema de Rociadores por Area, por FM.

Área	Densidad (gpm/ft²)	AOR ft²	Flujo para Mangueras (gpm)	Duración (min)	Demanda de Agua gal
Oficinas	0.10	1500	250	60	24 000
Manufactura	0.50	3000	500	90	180 000
Mantenimiento	0.20	3500	250	60	57 000

Por lo tanto, el suministro para el sistema de rociadores debe ser como mínimo de 180 000 galones (681,37 m³), exclusivo para el sistema contra incendio.

En este ejercicio, el volumen máximo coincidió para ambas regulaciones. Sin embargo, se observa que para el área de oficinas y mantenimiento, el volumen requerido es mayor si el diseño es efectuado bajo los estándares de FM.

3.7 Cálculo para determinar la Capacidad de la Bomba Contra Incendio.

3.7.1 Bomba Principal Contra Incendio

La capacidad de la bomba principal contra incendio, será definida por el área de mayor densidad.

La presión de trabajo para la bomba contra incendio, lo arrojarán los cálculos hidráulicos. Sin embargo, para iniciar un cálculo, es necesario proporcionar la presión de la bomba, por lo tanto, este dato se supone de inicio (si no se cuenta con el) y ya sea que se modifique en las primeras corridas del cálculo hidráulico o en su defecto, se modifiquen los diámetros del sistema.

La ecuación para determinar la capacidad de la bomba se expresa como:

$$\text{Capacidad Bomba} = (\text{Densidad} \cdot \text{AOR}) + (\text{Flujo por Gabientes}) \text{ Ec.4}$$

La tabla 3.14, muestra el análisis realizado por área, para determinar la capacidad de la bomba contra incendio.

Tabla 3.14 Capacidad de la bomba principal contra incendio.

Área	Densidad (gpm/ft ²)	AOR ft ²	Flujo para Mangueras (gpm)	Capacidad de la Bomba gpm
Oficinas	0.10	1500	100	250
Manufactura	0.40	2500	500	1500
Mantenimiento	0.20	1500	250	550

En este caso, la capacidad de la bomba la determinara el área de manufactura. La bomba contra incendio para el sistema de rociadores será de 1500 gpm. Para efectos de ejemplo, se correrá el diseño con una bomba de 1500 gpm a 140 psi.

3.7.2 Curva de la bomba.

Es importante obtener la curva de desempeño teórico de la bomba, la cual podrá consultarse directamente con el fabricante. La bomba deberá estar listada para uso exclusivo del sistema contra incendio.

Deberán marcarse los puntos de la bomba de acuerdo a NFPA 20: 150% del caudal nominal y presión mínima de 65%. Deberá trabajar a 140% de la presión nominal a flujo cero. Con estos datos, se obtendrá la curva real de la bomba.

La grafica 3.2, muestra la gráfica teórica y los puntos de desempeño real de una bomba de 1500 gpm con un rango de presión entre 120 y 208 psi, de acuerdo a lo indicado por NFPA 20.

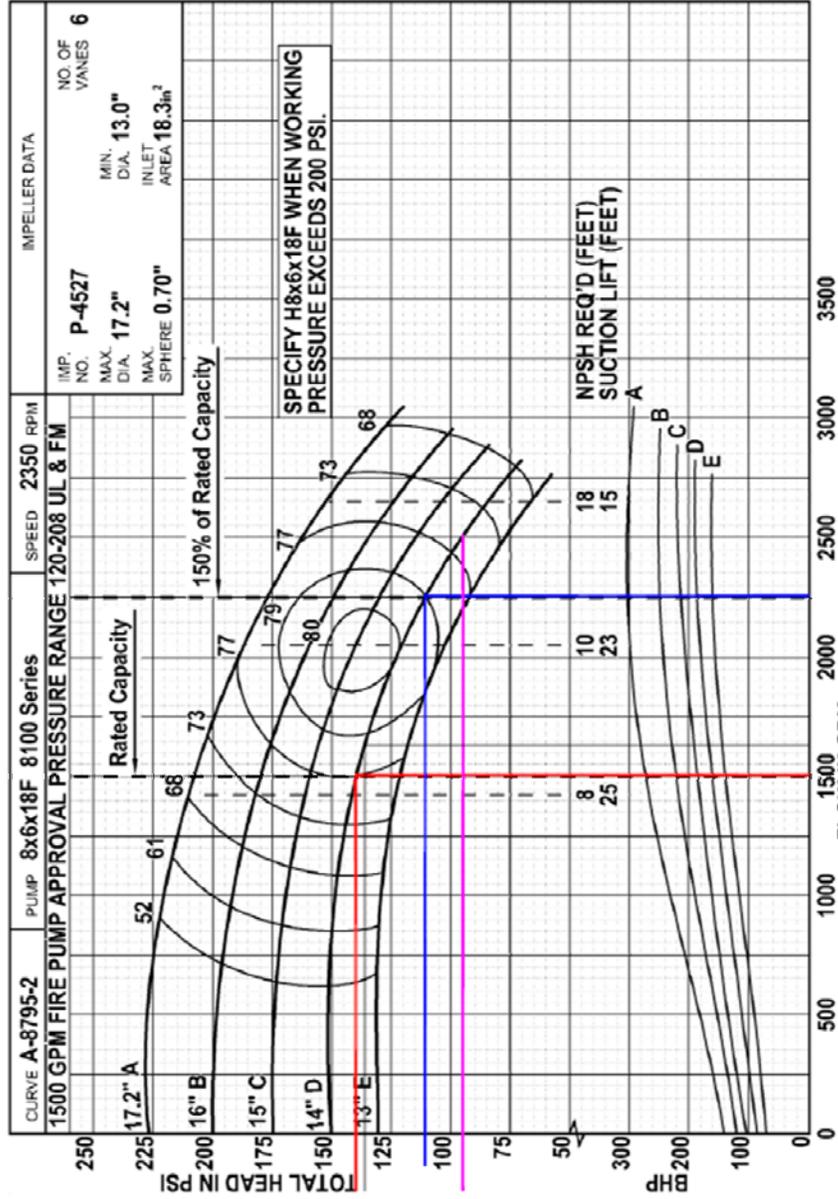
Grafica 3.2 Curva de Desempeño de una bomba con capacidad de 1500 gpm.

AC FIRE PUMP
a xylem brand

PERFORMANCE CURVES
1500 GPM

FP 2.0

OCTOBER 2012
SUPERSEDES ALL PREVIOUS ISSUES



Curves show performance with clear water at 68°F. If specific gravity is other than 1.0, BHP must be corrected.

3.7.3 Bomba Jockey

La bomba jockey deberá ser capaz de mantener la presión del sistema ante una fuga, para evitar el arranque constante de la bomba contra incendios, por lo que su capacidad deberá ser pequeña en relación a la bomba principal.

Algunos fabricantes recomiendan que la capacidad de la bomba jockey sea del 1% de la capacidad de la bomba principal, sin convertirse esto en regla general.

Si se considerara esta regla, la bomba jockey para este diseño sería de 15 gpm.

El punto de parada de bomba jockey debe ser igual a la presión de colchón de la bomba, más la presión de succión estática mínima. El punto de inicio de bomba jockey debe ser de al menos 10 psi (0,68 bar) menor que el punto de parada de bomba jockey.

3.8 Selección del Rociador.

3.8.1 Factor K del Rociador de acuerdo a NFPA 13.

A excepción del riesgo ligero donde se recomienda utilizar un factor $K = 5.6$, o menor (considerando algunos requerimientos), el NFPA 13, no cuenta con una tabla para la selección de aspersores en base al riesgo de la ocupación para áreas sin almacenamiento, sin embargo es posible encontrar limitaciones para cierto tipo de rociadores tales como los de cobertura extendida, los rociadores con factor K menor a 5.6, etc.

Es importante mencionar, que a pesar de encontrarse fuera del alcance de este trabajo, el capítulo número 12 de este estándar, el cual trata los

requerimientos para la protección de almacenes, en el punto 12.6, limita al uso del factor K de rociadores en base a la densidad que se establezca, como se resume en la tabla 3.12, la cual se propone como un punto de partida para la selección del factor K del aspersor.

Es importante mencionar que deberá sugerirse un factor K inicial y realizar el cálculo hidráulico apropiado para realizar un análisis general del sistema, y tomar la decisión de aumentar o disminuir el factor, los diámetros de la tubería o realizar alguna otra modificación al proyecto. La selección de un factor K, para una determinada ocupación o densidad, depende en ocasiones de la experiencia del diseñador.

Tabla 3.15 Factores K mínimos para rociadores estándar en Almacén, de acuerdo a NFPA 13.

Densidad (gpm/ft ²)	Factor K (mínimo)
0.2 o menor	5.6
0.2 a 0.34	8.0
0.34 o mayor	11.2

3.8.2 Factor K del Rociador de acuerdo a FMDS-3-26.

Tabla 3.16 Factores K mínimos por categoría de riesgo de acuerdo a FM, DS 3-26.

Categoría de Riesgo	Altura de cubierta en ft (m)		
	Hasta 30 ft (9 m)	De 30 – 60 ft (9-18 m)	Mayor a 60 ft (18 m)
HC-1	5.6 / 5.6 EC	8.0	25.2 / 25.2 EC
HC-2	8.0 / 11.2 EC	8.0	25.2 / 25.2 EC
HC-3	11.2 / 11.2 EC	11.2	25.2 / 25.2 EC

EC= Cobertura Extendida

3.8.3 Tabla comparativa para la selección del Factor K de Rociador.

De acuerdo a lo señalado en las tablas 3.15 y 3.16, el factor K, para las áreas de ejemplo se establecen de la siguiente manera, según la normativa bajo la cual se diseñe.

Tabla 3.17 Selección de Factores K para Rociadores

ZONA	Factor K mínimo para Rociadores de acuerdo a:	
	NFPA 13	FMDS-3-26
Oficinas	5.6	5.6
Manufactura	11.2	11.2
Mantenimiento	8.0	8.0

3.8.4 Selección de Temperatura del Rociador.

De acuerdo a la tabla 2.12 “Rangos de Temperatura, Clasificación y Código de color para Rociadores según NFPA 13”, para una temperatura máxima de cubierta de 100°C (212 °F), corresponde un rociador con una clasificación por temperatura Alta, de un rango de temperatura entre los 121 -149°C (250-300°F).

3.9 Área de Diseño para el Cálculo de Rociadores.

3.9.1 Limitación de Área para Distribución de sistemas.

La NFPA 13, limita las áreas de diseño, en base a la clase de riesgo como lo muestra la tabla 3.18. Es decir, el área total de piso a proteger por rociadores automáticos suministrados por un riser o un sistema de ellos no deberá exceder lo señalado por NFPA 13, de acuerdo al numeral 8.2.1

Tabla 3.18 Áreas máximas por Riser, de acuerdo a NFPA 13.

Riesgo	Area Maxima	
	ft ²	m ²
Ligero	52 000	4 830
Ordinario	52 000	4 830
Extra Ordinario	40 000	3 720

3.9.2 Planteamiento general de datos para el área de cálculo.

Se realizaran los cálculos para un sistema de rociadores tipo parrilla del área de manufactura, considerando los datos de diseño planteados en la tabla 3.19.

Los datos de diseño, son requeridos para proporcionar la cantidad de rociadores que intervienen en el cálculo hidráulico, así como su gasto mínimo esperado y la ubicación del área hidráulicamente más remota.

3.19 Tabla de Datos de diseño para el cálculo de rociadores en el Área de Manufactura

Características del Sistema		Datos	
Cálculo realizado con base en:		NFPA-13	
Riesgo del Área:		Extra Ordinario Grupo 2	
Área total del sistema:		40 000 ft ²	
Tipo de Sistema:		Húmedo	
Configuración:		Parrilla	
Características del Rociador:		Datos:	
Tipo:		Pulverizado, Estándar, Montante	
Factor K:		11.2	
Presión mínima de trabajo:		7 psi	
Área Máxima de Cobertura Permitida:		100 ft ²	
Área Máxima de cobertura Real:		95 ft ²	
Espaciamiento Máximo Permitido:		12 ft	
Espaciamiento Máximo Real:		9.75 ft	

3.9.3 Área de Cobertura y Espaciamiento Máximo.

El estándar 13 de NFPA, muestra en sus tablas 8.6.2.2.1 a, b y c el área de cobertura máximo por rociador así como el espaciamiento máximo permitido entre aspersores, para riesgo ligero, ordinario y extra ordinario respectivamente.

El área de manufactura, corresponde según la tabla 3.2 a un riesgo Extra Ordinario Grupo 2. Por lo tanto, para determinar el área de cobertura máximo es necesario basarse en la tabla 3.20, de acuerdo a lo establecido en NFPA 13.

Tabla 3.20 Área de cobertura y espaciamiento máximo para rociador Estándar y riesgo Extra Ordinario, para sistemas hidráulicamente calculados.

Tipo de Construcción	Densidad (gpm/ft ²)	Área de Cobertura		Espaciamiento Máximo	
		ft ²	m ²	ft	m
Todas	≥0.25	100	9.3	12*	3.7*
Todas	<0.25	130	12.1	15	4.6

**Cuando los elementos estructurales en cubiertas son sólidos y forman bahías de hasta 25 ft (7.6 m) de ancho, es permitido el espaciamiento de rociadores hasta 12.5 ft.*

De esta manera de acuerdo a la tabla 3.20 y con base en la información de la tabla 3.5, el área de cobertura por rociador es de 100 ft con separación máxima entre aspersores de 12 ft.

3.9.4 Flujo y Presión mínima del Rociador.

3.9.4.1 Flujo mínimo

De acuerdo a la ecuación Ec.2, el flujo para el aspersor se determina por:

$$Q = 11.2\sqrt{7}$$

$$Q = 29.63 \text{ gpm}$$

Para obtener el flujo real del rociador, verificamos el dato anterior mediante la siguiente formula, obteniendo a partir del flujo, la densidad requerida:

$$d = Q/A_{max}$$

Dónde:

D: densidad requerida, gpm/ft².

Q= Flujo por aspersor, gpm

A_{max}= Área máxima de cobertura real, ft².

$$d = \frac{29.63 \text{ gpm}}{95 \text{ ft}^2} = 0.31 \text{ gpm/ft}^2$$

Observamos que 0.31 gpm/ft², es menor a la densidad requerida para el área de manufactura (0.40 gpm/ft²), por lo tanto, es necesario, replantear el cálculo, de manera que se obtenga el flujo del aspersor en base a la densidad establecida:

$$Q_r = D_e \times A_{max}$$

Dónde:

Q_r= flujo mínimo requerido por rociador, gpm.

D_e= Densidad establecida por riesgo, gpm/ft².

A_{max}= Área máxima de cobertura real, ft².

$$Q_r = \left[0.40 \left(\frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2} \right) / \text{ft}^2 \right] \times (95 \text{ ft})$$

Por lo tanto el flujo mínimo requerido en el rociador es de:

$$Q_r = 38.8 \text{ gpm}$$

3.9.4.2 Presión al rociador más remoto

Con base en la ecuación 4, y el resultado anterior, se determina la presión mínima del rociador:

$$P_{rr} = \left(\frac{Q_r}{K} \right)^2$$

Dónde:

P_{rr} = Presión en el rociador remoto, psi.

Q_r = Flujo mínimo requerido en el rociador, gpm.

K = Factor K del Rociador, gpm/psi^{0.5}.

Resolviendo:

$$P_{rr} = \left(\frac{38.8}{11.2} \right)^2$$

$$\mathbf{P_{rr} = 12.0 \text{ psi}}$$

3.9.5 Número de rociadores para el área de Cálculo

Los sistemas de rociadores contra incendios se calculan a partir de la zona hidráulicamente más remota, la cual, alberga un número determinado de rociadores.

Los rociadores que intervienen en el cálculo, están definidos con base en el área de acción del rociador y por el área de cobertura real del mismo, a partir de la siguiente formula:

$$\text{Num Rociadores} = \frac{\text{Area de operacion del rociador}}{A_{max}}$$

$$\text{Num. Rociadores} = \frac{2500 \text{ ft}^2}{95 \text{ ft}^2} = 26.31 \text{ Rociadores}$$

$$\text{Num. Rociadores} = 27 \text{ rociadores}$$

3.9.6 Configuración del Área de Cálculo.

Los 27 rociadores, calculados a partir del método de área/densidad, deberán distribuirse para formar un área, la cual, de acuerdo a NFPA 13 23.4.4.2.1, deberá ser rectangular, con una dimensión paralela a los ramales de al menos 1.2 veces la raíz cuadrada del área de operación de los rociadores utilizados, lo cual permitirá la inclusión de rociadores a ambos lados de los cabezales, como se muestra en la ecuación siguiente:

$$Lr = 1.2 \sqrt{\text{Area op. del Rociador}}$$

Dónde:

Lr = Longitud paralela al ramal en ft.

$$Lr = 1.2 \sqrt{2500 \text{ ft}^2}$$

$$\mathbf{Lr = 60 \text{ ft}}$$

Por lo tanto, para encontrar el número de rociadores en cada ramal:

$$R_{ramal} = \frac{Lr}{E_{max} Real}$$

Dónde:

R_{ramal} = Rociador por Ramal, piezas.

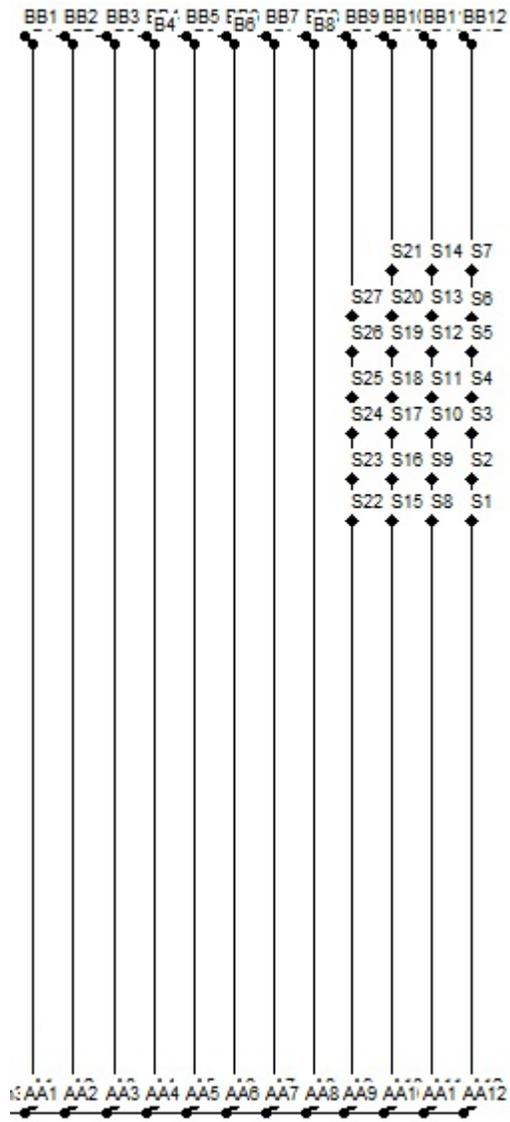
Lr = Longitud paralela al ramal, ft.

$E_{max} Real$ = Espaciamiento máximo real,ft.

$$R_{ramal} = \frac{60 ft}{9.75 ft} = 6.15$$

$$\mathbf{R_{ramal} = 7 rociadores por ramal}$$

De esta manera, se consideraran en el área de cálculo 7 rociadores por ramal, que deberán distribuirse en 3 líneas de 7 rociadores y una última línea de 6, con un total de 27 rociadores, como se muestra en la figura 3.1.



Elaboración propia

Figura 3.1, Distribución de Rociadores en el área de Cálculo.

3.10 Resultados del Diseño.

El planteamiento de un criterio de diseño correcto y a conciencia por parte del proyectista, garantiza en gran medida, el funcionamiento eficiente del sistema de rociadores y permite realizar ahorros de tiempo y dinero en materiales de construcción y mano de obra.

Sin embargo, antes de plantear las bases del diseño, es indispensable en primer lugar, saber bajo que marco regulatorio se realizará el diseño; y en segundo lugar, contar con toda la información posible del área para la cual se requiera un sistema de rociadores, es importante que no se suponga ningún dato, al momento de realizar el proyecto.

3.10.1 Criterios de Diseño con base en NFPA 13.

Tabla 3.21 Criterios de diseño para el Área de Manufactura

SISTEMA DE BOMBA Y TANQUE	
Capacidad de la Bomba Principal:	1500 gpm @ 140 psi
Volumen del Tanque:	180 000 gal
Tiempo de Suministro de Agua:	120 min
SISTEMA DE ROCIADORES HUMEDO	
Densidad:	0.4 (gpm/ft ²)/ft ²
Área de Operación de Rociadores:	2500 ft ²
Flujo para Mangueras:	500 gpm
Tipo de Rociador:	Respuesta Estándar
Estilo del Rociador:	Montante
Factor K Rociador:	11.2
Área Máxima de Cobertura por Rociador:	100 ft ²
Temperatura Rociador:	286 °F

Lo anterior, puede leerse como:

CRITERIO DE DISEÑO PARA EL AREA DE MANUFACTURA:

Se proporcionará un sistema de rociadores húmedo, con una densidad de 0.4 (gpm/ft²)/ft², operando sobre el área hidráulicamente remota de 2500 ft². Agregando un flujo para mangueras de 500 gpm. Se utilizara un rociador de respuesta estándar, de estilo montante, con factor K de 11.2 gpm/psi^{0.5}, que permite un área de cobertura máxima de 100 ft², con una temperatura nominal de 286°F.

CAPACIDAD DEL TANQUE Y BOMBA CONTRA INCENDIO PARA EL EDIFICIO:

La bomba deberá proporcionar un galonaje mínimo de 1500 gpm operando a una presión de 140 psi.

La capacidad del tanque o el volumen mínimo de agua con uso exclusivo contra incendio será de 180 000 galones, disponibles por un periodo de 120 minutos.

CAPITULO 4. MODELACION DE UN SISTEMA AUTOMATICO DE ROCIADORES CONTRA INCENDIO

4.1 Definición de Modelado y Simulación.

El modelado de un sistema cualquiera se refiere a un sistema de postulados, datos e interfaces presentados como una descripción matemática de una entidad o procedimientos, tales como el desarrollo de ecuaciones, limitaciones y reglas lógicas [97].

Por otra parte, la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, señala que el modelado es una representación, bien sea abstracta, análoga, fenomenológica o idealizada, de un objeto que puede ser real o ficticio. El cual busca mejorar el conocimiento y la comprensión de un fenómeno o proceso y ello involucra el estudio de la interacción entre las partes de un sistema y el sistema como un todo [98].

De esta manera, la efectividad de los modelos como herramientas de certidumbre científica o como instrumentos de garantía para tomar decisiones sobre procesos de ingeniería, depende del nivel de correspondencia que pueda lograrse, dentro de los rangos relevantes, entre el modelo y el sistema real representado; entre el comportamiento observado al operar el modelo y el comportamiento observado de la experimentación sobre el sistema real [98].

Es decir, la modelación parte del análisis de un sistema real el cual arroja una descripción matemática o patrones de comportamiento del sistema.

La simulación, es la implementación del modelo la cual se utiliza, entre otras cosas, cuando existe una codependencia en la variación de ciertos factores o cuando varían las condiciones de operación. Lo que resulta sumamente útil para el diseño de un sistema, la comprensión de un fenómeno o el estudio de ciertos efectos [97]. Y comprende la representación temporal del comportamiento o la

evolución de un sistema para formalizar, con técnicas computacionales, la experimentación artificial de un fenómeno o proceso [98].

La simulación arroja tanto resultados tangibles tales como ahorro de dinero, material y mano de obra con respuestas consistentes; e intangibles como el aumento de la flexibilidad, precisión y rango de operación, la detección de nuevos resultados, la mejora de los resultados debido a la normalización, y además permite indicar explícitamente supuestos y limitaciones [97].

4.2 Programas de cómputo especializados para el diseño de un Sistema de Rociadores Contra Incendio.

Las matemáticas utilizadas en el cálculo de sistemas hidráulicos de tuberías a presión de rociadores suelen ser relativamente sencillas, sin embargo, es posible que al realizar un cálculo hidráulico de una red, éste se vuelva laborioso y por lo tanto sea necesario utilizar un software especializado en el cálculo y diseño de este tipo de sistemas.

FM-Global recomienda que para el cálculo de un sistema tipo parrilla, se utilice un software especializado debido a que los cálculos involucrados se manejan aún mejor con un programa específicamente diseñado para la evaluación de sistemas automáticos de rociadores, utilizando ya sea la fórmula de Hazen-Williams o por el método de cálculo de Darcy-Weisbach [99].

Por otra parte, NFPA 13 en el apartado 23.4.4.5.2, menciona que para sistemas de rociadores tipo parrilla, deberán presentarse dos juegos adicionales de cálculos para demostrar el área de máxima demanda y pérdida por fricción y estas deberán ser comparadas con las áreas inmediatamente adyacentes de cada lado del área de cálculo sobre los mismos ramales. Sin embargo, este punto puede no seguirse a menos que, como lo menciona el apartado 23.4.4.5.3, los cálculos sean realizados por un programa de computadora el cual muestre la

demanda máxima y la pérdida por fricción, es entonces que será aceptado un solo juego de cálculos [9].

Existen diversos programas desarrollados para el diseño y cálculo de sistemas automáticos contra incendio, cuyas variables de entrada y salida suelen ser similares. Este tipo de softwares se comercializan a diversos costos, tal como lo muestra la tabla 4.1

4.3 Principios del Software EPANET 2.0

EPANET, es un programa de cómputo gratuito que realiza simulaciones en periodos extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad de agua en redes de distribución a presión. En general, una red consta de tuberías, nodos, bombas, válvulas y tanques de almacenamiento o depósitos. EPANET determina el caudal que circula por cada una de las conducciones, la presión en cada uno de los nodos, el nivel de agua en cada tanque y la concentración de diferentes componentes químicos a través de la red durante un determinado periodo de simulación analizado en diferentes intervalos de tiempo [100].

Los programas de investigación de la *Environmental Protection Agency* (EPA), están dirigidos a proporcionar los datos y el soporte técnico requerido para resolver los problemas medio ambientales de hoy en día, y constituir una base de conocimientos sólida que permita gestionar prudentemente los recursos ecológicos. Desde su lanzamiento en Europa en Septiembre de 1993, ha tenido una gran aceptación en España, y en todos los países de habla hispana. Las sucesivas ediciones españolas de la versión 1.1 de EPANET fueron difundidas desde la U.D. Mecánica de Fluidos del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, con el apoyo de cursos de formación para su manejo [101].

Tabla 4.1 Matriz de costos para Programas de cálculo de Sistemas de Rociadores.

		EN FPS					
HydraCALC	HYDRATEC	Capacidad de la bomba* Diametros de tuberías Tipo de tubería Presion de trabajo del Rociador Capacidad de trabajar con arreglos de bombas Tipo de rociador y factor K Alturas	Curva de la bomba y flujos Flujo por tramo de tubería Flujo total del sistema Presiones Velocidades Long. Equivalente Densidad de flujo Area por rociador Velocidad Maxima en tramo	Hazen Williams y Darcy Weisbach	AUTOCAD, Revit y No maneja el Modelado 3D	NFPA y datos del diseñador	+ 30 años \$ 1,750.00 \$ 750.00
	ELITE SOFTWARE	Datos de Proyecto Nodos Factor K de cada rociador Longitud de tubería Diametros de tuberías Tipo de material Accesorios Altura	Datos generales de proyecto Flujo por nodo Grafica de suministro y demanda y un resumen de la red	Metodo de Newton- Raphson	AutocAD/MEP Interface (solo version completa)	NFPA	\$ 495.00 \$ 331.65 A 1,250.00 \$ 495.00 1999 primera actualización
FGH Hydraulic Calculation Software	Canute LLP	Altura Velocidades min max* Max caída de presion Factor K Rociador Tipo tubería Diametro* Criterio de diseño	Velocidades Minimas y Maximás Capidas de Presion Dimensionamiento de tubería Flujo Presion del sistema Densidad optima Cobertura Maxima por spk	Hazen Williams y Darcy Weisbach	AUTOCAD, Exporta archivos DXF Y Modelado 3D	EN 12845, BS 9251, FM, NFPA 13, NFPA 750 CP 52, ASIB, and AS2118.1	Sin Información € 1,088.00 € 205.00
	FireACAD	Datos de Bomba Nodos Factor K por Nodo Alturas Longitud de tubería Tipo de material Factor C Diametro tubería Accesorios	Presion de Nodos Descarga por nodos Diametro de tubería Flujo por tramo de tubería Friccion Unitaria Perdida por friccion Velocidad por tramo Grafica de suministro y demanda	Hazen Williams	Autocad y Revit	NFPA	Desde 1985 En el mercado desde: 1992 \$ 2,150.00 \$ 685.00
CALCPLUS							

Tabla 4.1 Continuación

Programa	Desarrollador	VARIABLES ENTRADA	VARIABLES DE SALIDA	MODO DE CALCULO	COMPATIBLE	NORMATIVA	EXPERIENCIA EN FPS	COSTO (DOL)	ADICIONAL
AutoSPRINK	MEPCAD Inc	Alturas	Curva de la bomba y flujo	Hazen Williams y Darcy Weisbach	AUTOCAD, Revit y Modelado 3D	Datos del diseñador	2008	Sin informacion	Sin informacion
		Rociador	Flujos por tramo y totales						
HYDRONICS 5.8	HYDRONICS	Ocupacion	Presiones	Hazen Williams. Utiliza analisis de elemento finito por el metodo de Newton Raphson y algoritmos de LaGuerre para el balance del sistema	Windows y Excel	NFPA13,15,16,231-C.		\$ 3,000.00	Sin informacion
		Factor K Rociador	Velocidades						
		Tipo tubería	Densidad						
		Diametro	Area por rociador						
		Flujo por Gabinete	Velocidades						
			Diametro ajustado*						
			Cobertura Maxima por:spk						
		Datos de Proyecto	Presion de Nodos						
		Nodos	Descarga por nodos						
		Elevacion	Diametro de tubería						
Factor K por Rociador	Flujo por tramo de tubería								
Flujo por Gabinete	Perdida por friccion								
Longitud de tubería	Velocidad por tramo								
Diametro tubería	Grafica de suministro y demanda								
Accesorios									
Factor C									
Datos de la Bomba									
SPRINK CAD/SPRINK CALC	TYCO	Alturas	Curva de la bomba y flujo	Hazen Williams y Darcy Weisbach	AUTOCAD, Revit y Modelado 3D	Datos del diseñador	1986	Sin informacion	Sin informacion
		Rociador	Flujos por tramo y totales						
		Ocupacion	Presiones						
		Factor K Rociador	Velocidades						
		Tipo tubería	Densidad						
		Diametro	Area por rociador						
		Presion segura	Velocidades						
		Flujo por Gabinete	Diametro ajustado*						
		Longitud de tubería	Area de diseño						
			Cobertura Maxima por:spk						
EPANET 2.0	EPA -U.S.A.	Alturas	Flujos por tramo y nodos	Hazen Williams, Darcy Weisbach, Chezy-Manning	AUTOCAD, EPACAD	Datos del diseñador	2000	Gratuito	Gratuito
		Factor del Emisor	Presiones						
		Tipo tubería	Velocidades						
		Diametro							
		Coef. De Rugosidad							
		Longitud de tubería							
Curva de la bomba									
Capacidad de la bomba									

Así mismo, EPANET asume que las tuberías están completamente llenas en todo momento, y por lo tanto el flujo es a presión. La dirección del flujo es siempre del nodo de mayor altura piezométrica al de menor altura piezométrica [101].

Entre las aplicaciones de este programa destaca la planificación de mejoras en las redes contra incendio, el trazado y selección de nuevos elementos, la regulación de las presiones en la red, la reducción de los costos de operación, la regulación del uso de los depósitos para reducir los tiempos de retención del agua, la previsión de la respuesta de la red ante la clausura de un punto de alimentación o la incorporación de nuevas urbanizaciones, la planificación de acciones en los casos de emergencia, como la entrada de contaminante no controlado [101].

4.4 EPANET Para la simulación de Redes Contra Incendio.

Además del uso de EPANET como herramienta para el desarrollo de redes hidráulicas para el abastecimiento de agua, permite realizar cálculos hidráulicos de redes y su uso contra incendio.

EPANET, al igual que muchos de los programas especializados para el cálculo de redes contra incendio, trabaja con las fórmulas de Hazen-Williams y Darcy-Weisbach e incluye la fórmula de Chezy-Manning. Además contempla las pérdidas menores en accesorios, ingresar los niveles de agua del depósito de almacenamiento de agua y permite ingresar los puntos para establecer la curva de la bomba. Y modela los consumos dependientes de la presión que fluyen al exterior del sistema a través de emisores. Los emisores son uno de los componentes físicos que maneja este programa, son la representación de los pulverizadores, aspersores o rociadores [100].

4.4.1 Representación Gráfica de un Sistema Contra Incendio.

La ventaja de EPANET sobre algunos programas comerciales, es la opción de dibujar el modelo hidráulico, ya sea en planta, isométrico o de la forma que para el diseñador sea más clara y represente mejor el sistema de tuberías.

El realizar un gráfico claro del sistema hidráulico, brinda la oportunidad de entender mejor la distribución de tuberías, la ubicación de válvulas, tanque y bombas; minimiza la omisión de datos o componentes; y permite identificar con mayor facilidad los elementos del sistema.

EPANET permite dibujar directamente la red en la ventana de entrada, lo cual pudiese resultar laborioso. Para ello, este programa cuenta con un programa de ayuda: EPACAD, el cual da la opción de realizar la tarea de dibujo en AutoCAD e importar el archivo hacia nuestra ventana de trabajo en EPANET.

El área de mayor demanda hidráulica será el área de diseño y calculo, por lo que no es necesario plasmar en dibujo cada rociador del sistema, a menos, que el diseñador requiera datos adicionales de algún elemento fuera del área de diseño.

4.5 Ingreso de Datos en EPANET para la Modelación de un Sistema de Rociadores

4.5.1 Nomenclatura de Nodos.

Es importante, antes de realizar cualquier calculo, identificar debidamente los nodos del sistema. Se sugiere, que el diseñador proporcione una nomenclatura clara y sencilla, recomendando que la identificación de los puntos y colocación de nodos se realice en base a lo siguiente:

- En cada Rociador del área de diseño.
- Cuando en la tubería se observen:
 - Cambio de diámetro.
 - Cambio de material.
 - Cambio de cedula.
- En el punto superior del *Riser*.
- En el punto bajo del *Riser*.
- En la bomba.

El estándar NFPA 13, en su apartado 23.4.4.1.1, menciona que para todos los sistemas, el área de diseño debe ser el área de mayor demanda hidráulica [9]. Así mismo, no deberá confundirse el área más alejada en distancia con el área hidráulicamente más remota, que es donde deberán comenzarse los cálculos, para concluirlos en el punto de bombeo.

4.5.2. Datos para Rociadores.

Cada rociador del área de diseño, está representado por un nodo. Las propiedades a modificar de cada uno de estos nodos serán: la elevación y el coeficiente de emisión.

4.5.2.1 Elevación.

La elevación de cada rociador, es la distancia desde un punto de referencia hasta el deflector del rociador.

El punto de referencia que se determine desde un inicio, será utilizado como base para proporcionar las alturas de todos los elementos del sistema.

4.5.2.2 Coeficiente de emisión.

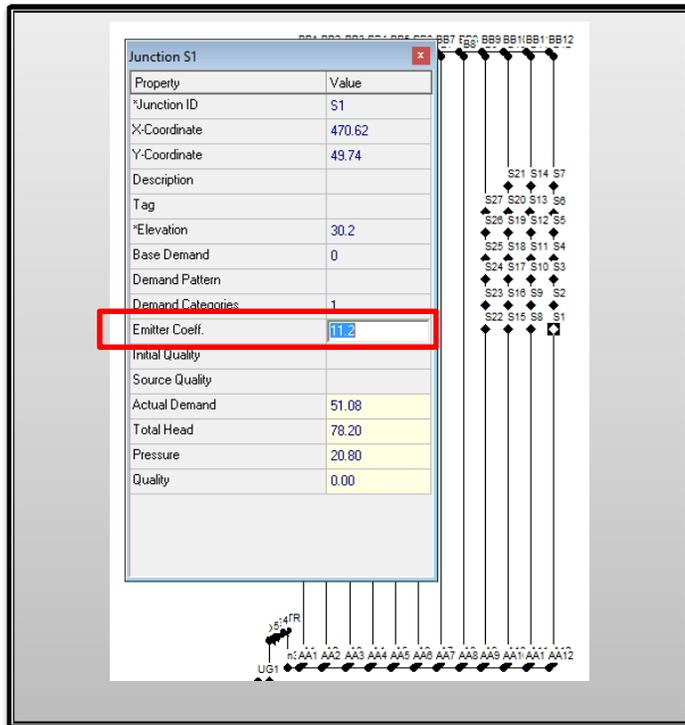
En EPANET 2.0, los emisores se refieren a mecanismos asociados a las conexiones que modelizan la descarga de caudal a la atmosfera a través de boquillas u orificios. El caudal que atraviesa el emisor varía en función de la presión del nodo:

$$q = C p^{\gamma}$$

Donde q = caudal, p =presión, C = coeficiente de caudal (descarga), γ = exponente de la presión. Para boquillas y rociadores γ es igual a 0.5 y el fabricante normalmente proporciona el valor del coeficiente de caudal en unidades de $\text{gpm/psi}^{0.5}$ (representa el flujo a través del dispositivo a una caída de presión de 1 psi) [102].

Los emisores son utilizados para modelar flujo a través de sistema de rociadores y redes de riego. También pueden simular fugas en conexiones de tuberías (si el coeficiente de descarga y el exponente de presión de la fuga o junta pueden ser estimados). EPANET considera los emisores como una propiedad de la unión no como un componente independiente de la red [102].

El emisor, es el equivalente al factor K del rociador, seleccionado previamente por el diseñador. Si los cálculos en EPANET se realizan en el sistema inglés de unidades (GPM), el valor del factor K en $\text{gpm/psi}^{0.5}$, deberá colocarse en cada uno de los nodos que representen el rociador en el sistema, como se muestra en la figura 4.1.



Elaboración propia

Figura 4.1 Coeficiente de emisión en el sistema de rociadores.

Si los cálculos en el programa son realizados en el sistema internacional de unidades (LPS), el valor factor K , deberá convertirse a unidades de lps/m.c.a.[103].

Ejemplo.

Un rociador con un factor $K=11.2 \text{ gpm/psi}^{0.5}$, corresponde a un factor $K=160 \text{ lpm/bar}^{0.5}$, según la tabla 2.13.

De esta manera es necesario convertir el valor de K a $\text{lps/bar}^{0.5}$, obteniendo un K' lo cual se realizara de la siguiente manera:

$$1 \text{ lpm} = 0.0166 \text{ lps.}$$

$$1 \text{ bar} = 10.2 \text{ m.c.a.}$$

Convirtiendo unidades:

$$\begin{aligned}\frac{lpm}{bar^{0.5}} &= \left(\frac{0.0166 \text{ lps}}{1 \text{ lpm}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ bar}}{10.2 \text{ m. c. a.}} \right)^{0.5} = \\ &= \frac{lpm}{bar^{0.5}} = 0.0052 \frac{lps}{m. c. a.}\end{aligned}$$

Factor K':

$$\begin{aligned}K' &= 160 \frac{lpm}{bar^{0.5}} \cdot 0.0052 \frac{lps}{m. c. a.} \\ K' &= 0.8320 \frac{lps}{m. c. a.}\end{aligned}$$

También, puede ser utilizada la siguiente ecuación [103]:

$$K' = \frac{K \cdot Q_c}{\sqrt{P_c}}$$

Dónde:

K' = Factor K en lps/m.c.a.

K = Factor K del Rociador en lpm/bar^{0.5}.

Q_c = 0.0166 lps/lpm

P_c = 10.2 bar/m.c.a.

Aplicando la formula se tiene:

$$K' = \frac{160 \frac{lpm}{bar^{0.5}} \cdot 0.0166 \frac{lps}{lpm}}{\sqrt{10.2 \frac{bar}{m.c.a.}}}$$

$$K' = 0.8320 \frac{lps}{m. c. a.}$$

4.5.3 Tubería y Accesorios.

Los parámetros hidráulicos más importantes para las tuberías en EPANET son [100]:

- Nodos de entrada y salida.
- Diámetro
- Longitud
- Coeficiente de rugosidad
- Estado (abierta, cerrada o con una válvula).

Los parámetros de estado de las tuberías se emplean para contemplar elementos tales como válvulas de corte o seccionamiento o válvulas de retención.

Los principales valores que se obtienen son [100]:

- Caudal
- Velocidad.
- Perdidas
- Factor de fricción de Darcy-Weisbach.
- Variación de la velocidad de reacción (a lo largo de su longitud).
- Variación de la calidad del agua (a lo largo de su longitud).

La pérdida de carga hidráulica por el flujo del agua en una tubería debida a la fricción con las paredes del tubo son calculadas utilizando tres diferentes fórmulas [102]:

- Hazen-Williams.
- Darcy-Weisbach.
- Chezy-Manning.

La fórmula de Hazen-Williams es la más utilizada en los Estados Unidos. No puede ser utilizada para líquidos distintos al agua y fue desarrollada

originalmente para flujo turbulento. La fórmula de Darcy-Weisbach es la más correcta teóricamente. Aplica para todo tipo de regímenes de flujo y para todos los líquidos [102].

El estándar NFPA 13, permite el uso de ambas fórmulas. Sin embargo, menciona en el punto 23.4.2.1.1, que las pérdidas por fricción deberán determinarse en base a la fórmula de Hazen-Williams, mientras que como lo menciona el punto 23.4.2.1.3 para sistemas de anticongelantes mayores a 40 galones, la pérdida por fricción debe ser también calculada utilizando la fórmula de Darcy-Weisbach [9].

Los datos de entrada para EPANET son longitud, diámetro y rugosidad.

4.5.3.1 Longitud:

Para la mayoría de los cálculos en protección de incendios, la pérdida por fricción es obtenida por uso del método de longitud equivalente de una tabla la cual expresa la pérdida por fricción del accesorio como una “longitud de tubería equivalente”, que tiene la misma pérdida por fricción que el accesorio. Esta longitud es entonces agregada a la longitud de la tubería a la cual el accesorio está conectado para obtener la pérdida por fricción total de la tubería y accesorios [5].

La longitud de la tubería, deberá considerar la longitud equivalente de los accesorios y válvulas. Estos datos pueden obtenerse de la tabla 23.4.3.1.1 *Equivalent Schedule 40 Steel Pipe Length Chart* en el estándar 13 de NFPA [9], del mismo fabricante de los dispositivos o de la ficha técnica de FM-Global FMDS 2-89. *Pipe Friction Loss Tables* [104].

4.5.3.2 Diámetro:

El diámetro a colocar en el programa es el diámetro interior de la tubería. Este varía dependiendo de la cedula utilizada y del fabricante. Y por lo tanto, se recomienda consultar la tabla de diámetros de tubería de cada fabricante.

4.5.3.3 Rugosidad.

Las soluciones de los problemas de protección de incendios que involucran flujo y fricción en tubería no requieren cálculo directo usando formulas, puesto que cartas y tablas están fácilmente disponibles. Sin embargo, al usar cartas y tablas simplificadas debe tenerse mucho cuidado al identificar el valor C (coeficiente de fricción) sobre el cual está basada la carta o tabla. Donde el tipo o condición de una tubería necesita el uso de un valor C diferente, la perdida por fricción de la tabla debe ser multiplicada por un factor de conversión para obtener los resultados correctos para el valor C deseado [5].

De esta manera, NFPA, señala que el uso de la tabla 23.4.3.1.1 deberá utilizarse para la Hazen Williams, únicamente para un factor $C=120$. Para otros valores de C , debe utilizarse un multiplicador indicados en el tabla 23.4.3.1.2 [9].

Así mismo, FM Global, también cuenta con tablas regidas por un factor de fricción [104].

Para el caso particular del ejercicio, el factor de rugosidad utilizado es $C=120$, por tratarse de tubería de acero y $C=140$ para tubería de PVC.

4.5.4 Válvulas

Las válvulas utilizadas en EPANET para un sistema contra incendio, deberán ingresarse al sistema como normalmente abiertas, y en este caso, su pérdida por fricción se considera como una longitud equivalente.

El diámetro de cada válvula, será el diámetro interior, el cual debe consultarse directamente en la ficha técnica del fabricante del dispositivo.

4.5.5 Bomba

La bomba utilizada para sistemas contra incendio, deberá ser listada para este uso.

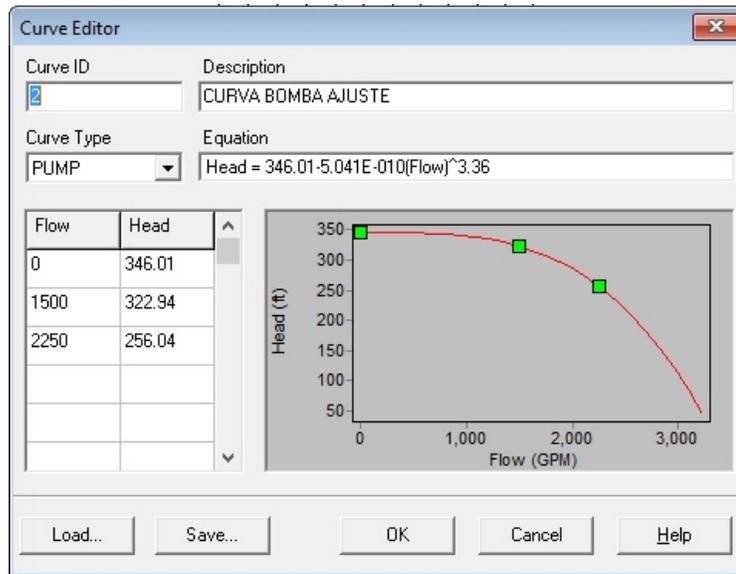
Se procederá a construir la curva de la bomba en EPANET, ingresando al módulo de Curvas, ubicado en el *Browser*, esto se realizará de acuerdo a los puntos de desempeño real de la bomba, obtenidos en la gráfica 3.2.

La cantidad de puntos para construir la curva, dependerá del diseñador. Deben colocarse un mínimo de tres. EPANET, maneja la presión de la curva en pies, por lo tanto deberá prestarse especial atención en el manejo de unidades.

Tabla 4.2 Puntos para una bomba contra incendio de 1500 gpm operando a 140 psi

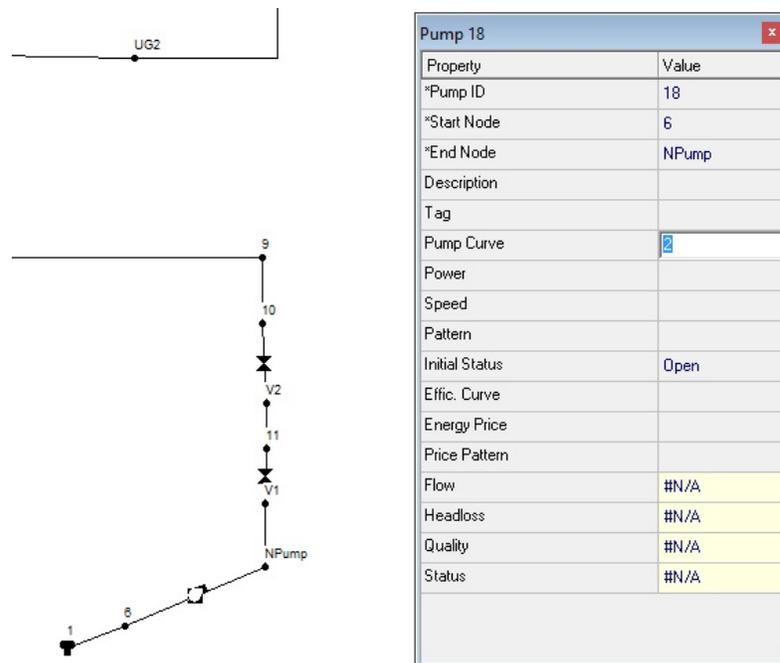
Flujo	Presión	
	gpm	psi ft
0	150	346.01
1500	140	322.94
2250	111	256.04

De esta manera, la curva de la bomba, quedara construida en EPANET como se muestra en la figura 4.2., y se asignará a la bomba (figura 4.3).



Elaboración propia

Figura 4.2 Curva de la bomba contra incendio en EPANET 2.0



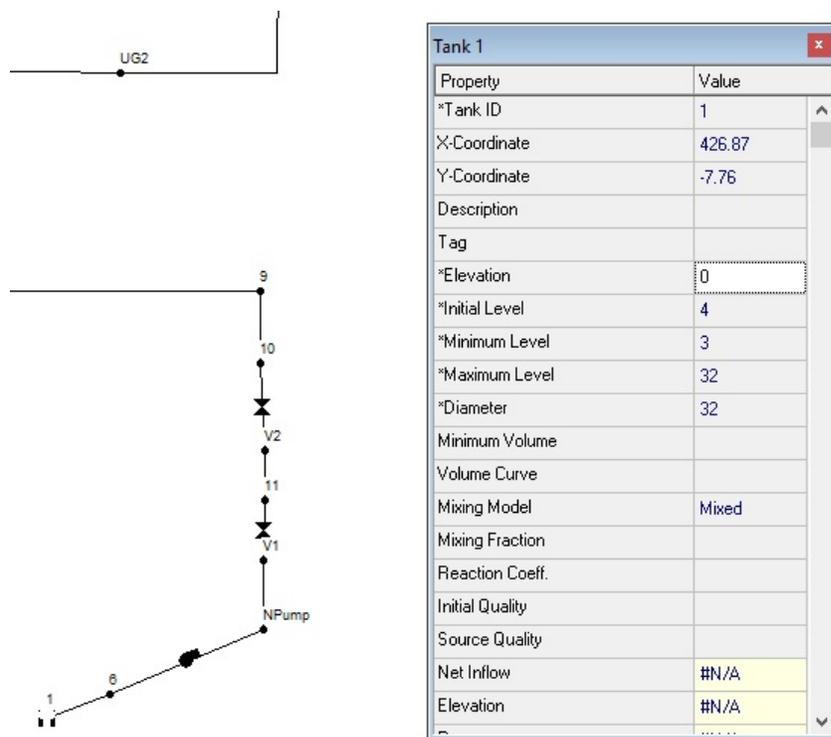
Elaboración propia

Figura 4.3 Asignación de la curva a la bomba del sistema

4.5.6 Tanque

El tanque contra incendio, deberá contar con una capacidad mínima de 180000 gal. De acuerdo a este valor, es necesario buscar un tanque que cumpla con esta capacidad.

Para este caso, se eligió un tanque con dimensiones de 32 ft de diámetro por 32 pies de alto, el cual se colocara a nivel de piso terminado. Los datos se ingresarán a EPANET como se muestra en la figura 4.4.



Elaboración propia

Figura 4.4 Ingreso de Datos para el Tanque contra incendio.

4.6 Resultados de la Modelación de un Sistema de Rociadores en EPANET 2.0

La evaluación del desempeño de EPANET 2.0 en el cálculo de un sistema de rociadores contra incendio, se realizó con base en un análisis comparativo contra un software para el cálculo exclusivo de sistemas de rociadores: HYDRONICS, cuyas características se describen en la tabla 4.1.

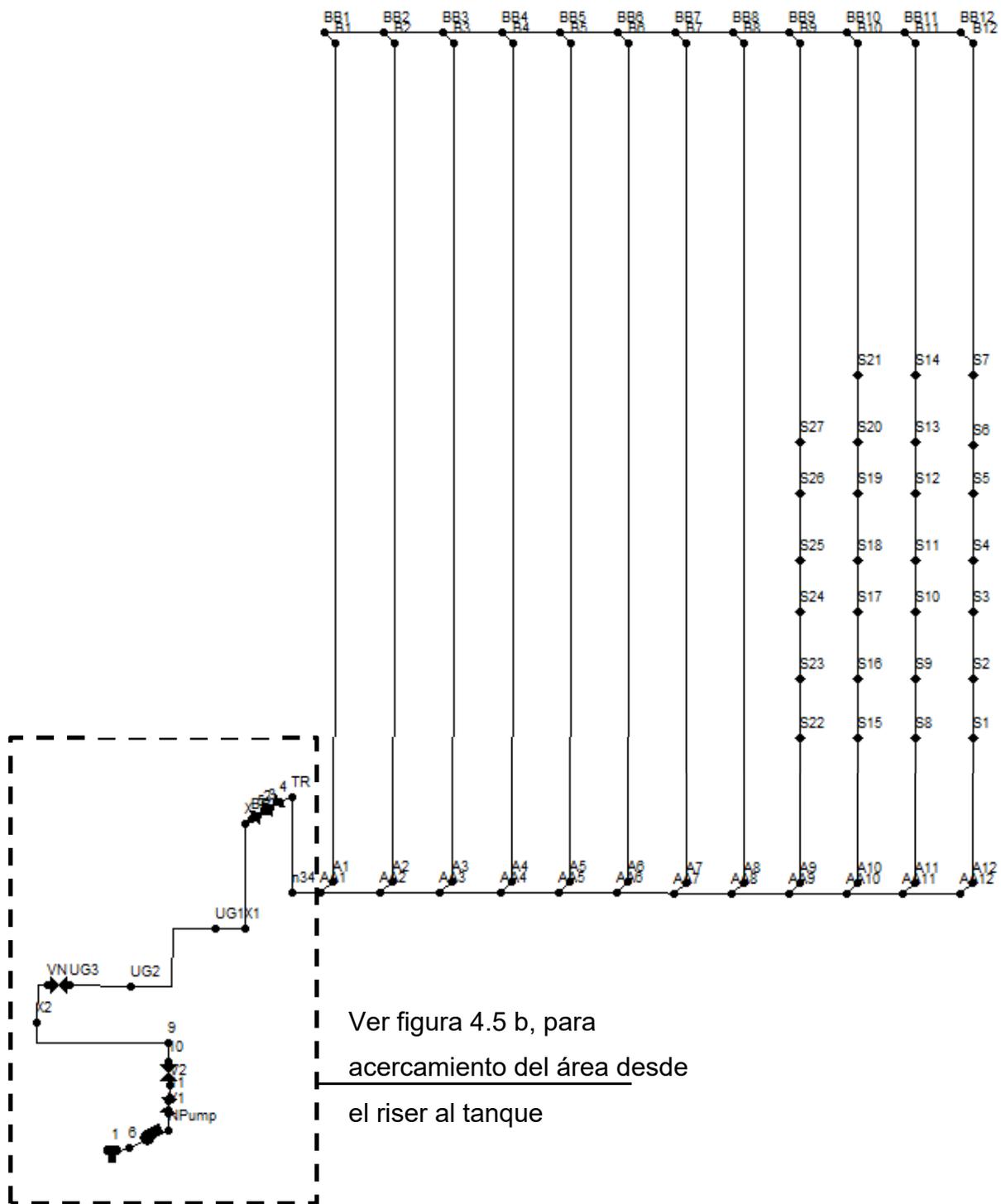
Para realizar un análisis de un sistema de rociadores automáticos, se evalúan las condiciones de gasto, presión y velocidad en los nodos (rociadores) y el sistema en general. La representación gráfica del modelo en EPANET, se muestran en la figuras 4.5a y 4.5b. La nomenclatura corresponde a los siguientes elementos:

Tabla 4.3a Identificación de elementos en EPANET 2.0

Nomenclatura		Elemento del Sistema
Nodos	"B"	Cabezal Secundario
	"S"	Rociador
	"A"	Cabezal Primario
	TR	Punto Alto del Riser (<i>Top Riser</i>)
	BR	Punto Bajo del Riser (<i>Bottom Riser</i>)
	UG	Tubería Subterránea PVC (C=140)

Tabla 4.3b Identificación de elementos gráficos

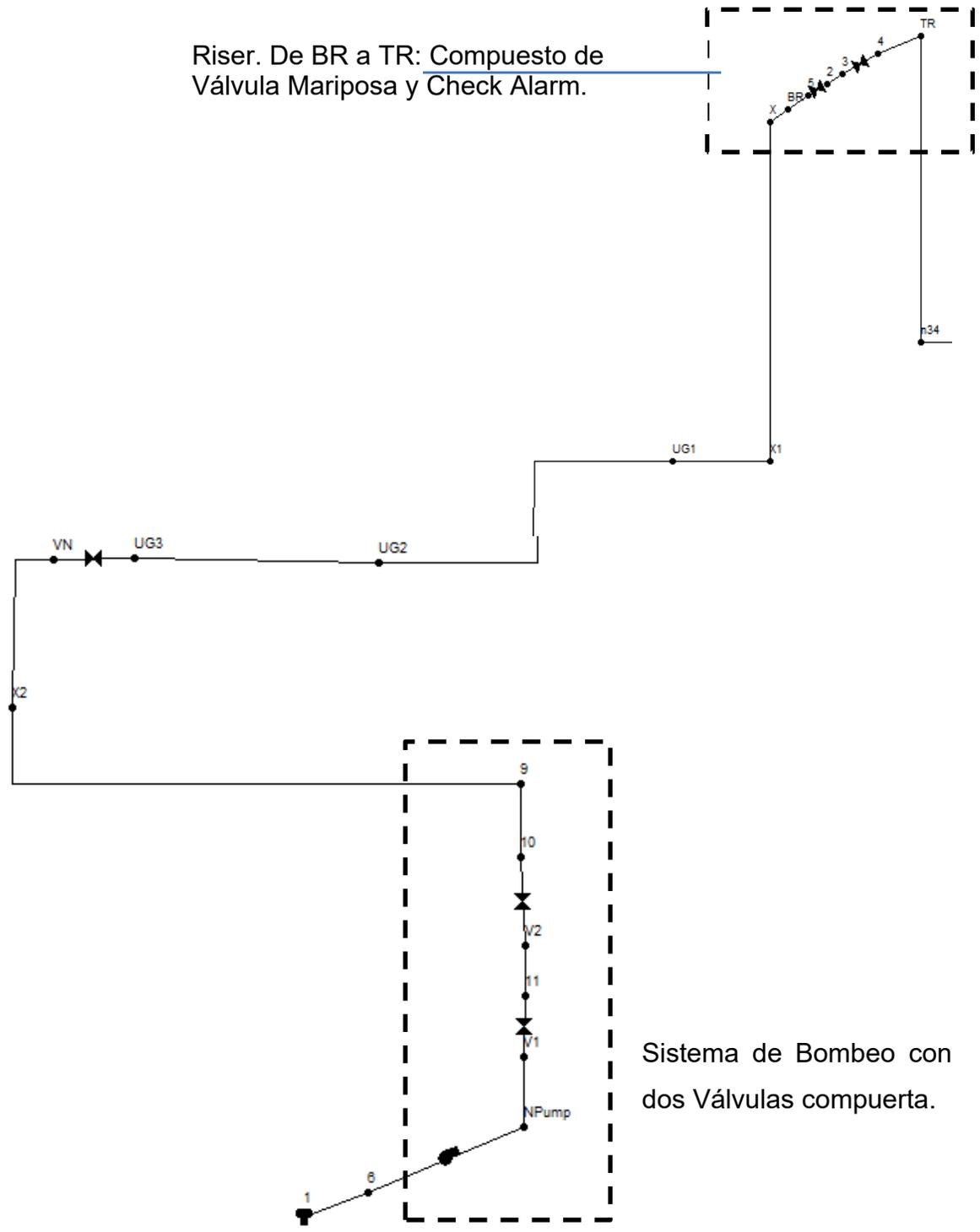
Símbolo	Elemento
	Válvula normalmente abierta
	Bomba (Principal) Contra Incendio
	Tanque de Suministro de Agua contra incendio.



Ver figura 4.5 b, para
acercamiento del área desde
el riser al tanque

Elaboración propia

Figura 4.5a Representación Gráfica del Sistema de Rociadores en EPANET 2.



Elaboración propia

Figura 4.5b Representación Gráfica del Sistema de Rociadores en EPANET 2.0 (Riser a Tanque).

4.6.1 Resultados de Flujo y Presión en los Nodos.

Al ingresar los datos de diseño en HYDRONICS Y EPANET, se obtuvo datos en los Rociadores, mostrados en la tabla 4.4.

TABLA 4.4. COMPARACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

NODOS	HYDRONICS 44		EPANET		DIFERENCIA	
	Q (Descarga)	P	Q (Descarga)	P En rociador	Q (Descarga)	P En rociador
	gpm	psi	gpm	psi	gpm	psi
S1	43.5	15.1	51.08	20.80	-7.58	-5.70
S2	40.3	12.9	47.36	17.88	-7.06	-4.98
S3	39.0	12.1	45.88	16.78	-6.88	-4.68
S4	38.8	12	45.69	16.64	-6.89	-4.64
S5	39.0	12.1	45.90	16.80	-6.9	-4.70
S6	40.3	13	47.41	17.92	-7.11	-4.92
S7	43.6	15.2	51.19	20.89	-7.59	-5.69
S8	43.5	15.1	51.09	20.81	-7.59	-5.71
S9	40.3	12.9	47.37	17.89	-7.07	-4.99
S10	39.0	12.1	45.89	16.79	-6.89	-4.69
S11	38.8	12	45.70	16.65	-6.9	-4.65
S12	39.0	12.1	45.91	16.80	-6.91	-4.70
S13	40.3	13	47.43	17.93	-7.13	-4.93
S14	43.6	15.2	51.21	20.91	-7.61	-5.71
S15	43.6	15.1	51.12	20.83	-7.52	-5.73
S16	40.3	13	47.41	17.92	-7.11	-4.92
S17	39.0	12.1	45.94	16.82	-6.94	-4.72
S18	38.9	12	45.75	16.69	-6.85	-4.69
S19	39.0	12.2	45.96	16.84	-6.96	-4.64
S20	40.4	13	47.49	17.98	-7.09	-4.98
S21	43.7	15.2	51.28	20.96	-7.58	-5.76
S22	47.2	17.7	55.37	24.44	-8.17	-6.74
S23	44.6	15.8	52.37	21.86	-7.77	-6.06
S24	43.8	15.3	51.46	21.11	-7.66	-5.81
S25	43.8	15	51.45	21.10	-7.65	-6.10
S26	44.3	15.7	52.13	21.66	-7.83	-5.96
S27	46.6	17.3	54.71	23.86	-8.11	-6.56
DIFERENCIA PROMEDIO:					7.31	5.31

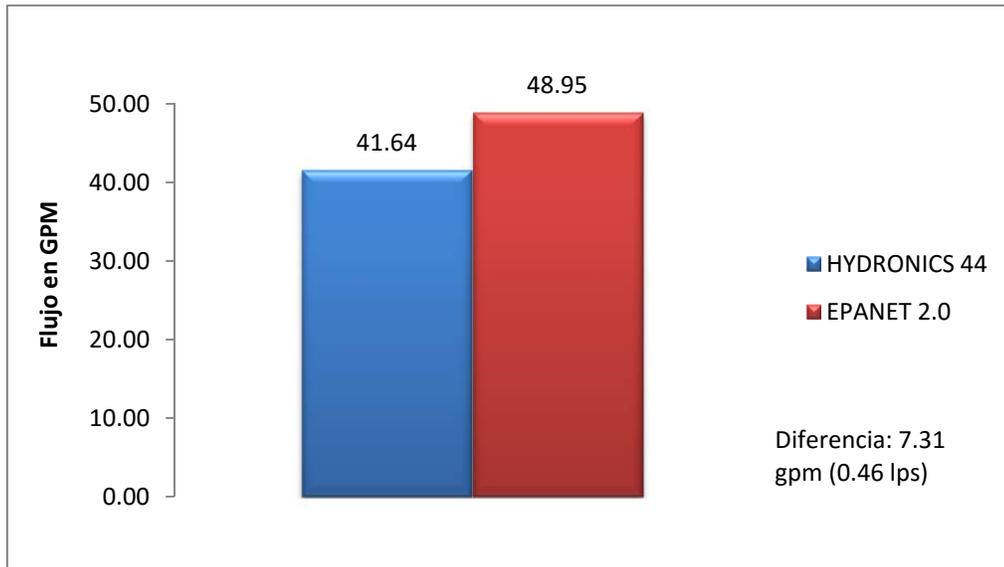
Gráfica 4.1 Resultados de Flujo en los Rociadores.



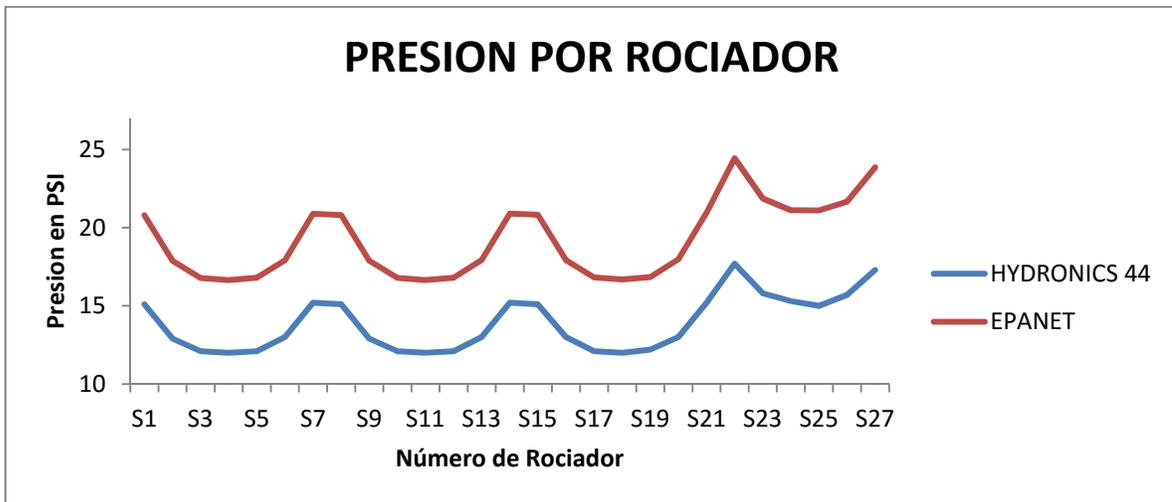
La grafica 4.1, indica entre el HYDRONCIS Y EPANET, un patrón de comportamiento similar de flujo en cada uno de los aspersores. Se muestra que los aspersores con menor demanda, son aquellos colocados al centro de cada ramal, mientras que los aspersores en los extremos de cada línea reciben mayor cantidad de agua, esto se debe a que los rociadores en los extremos se encuentran más cerca de los cabezales, los cuales brindan mayor flujo, mientras que los rociadores más lejanos son aquellos que reciben menor cantidad de agua.

La diferencia promedio es de 7.31 gpm (0.46 lps), para el flujo en el área de aspersores, como se muestra en la gráfica 4.2.

Gráfica 4.2. Flujo Promedio en Área de rociadores

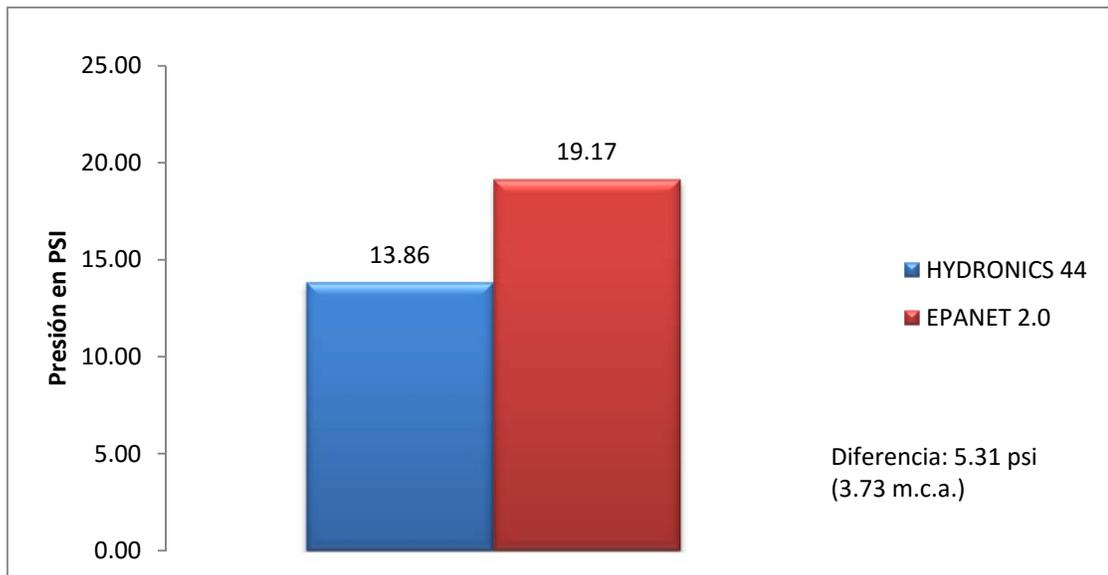


Gráfica 4.3 Resultados de Presión en los Rociadores



La grafica 4.3, muestra un comportamiento similar de presión en ambos programas, con una diferencia promedio de 5.31 psi como se observa en la gráfica 4.4. El rango de presión de funcionamiento para un rociador estándar K-11.2, es de 7psi (mínima), y 175 psi (máxima). Por lo que la presión de los rociadores modelados por EPANET cumplen con lo establecido por NFPA.

Gráfica 4.4 Presiones Promedio en el Área de Rociadores



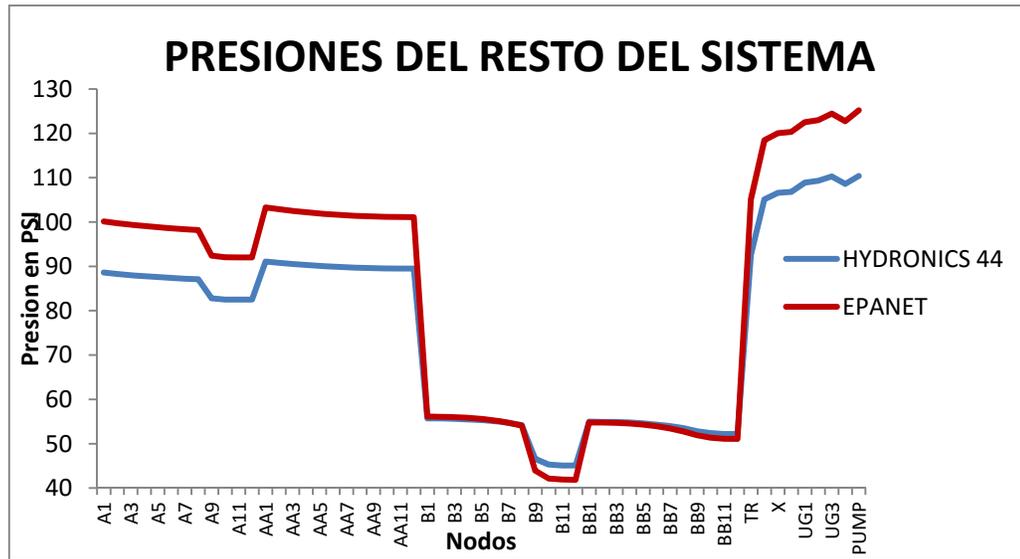
4.6.2 Resultados de Flujo y Presión en el Resto del Sistema.

Para el resto del sistema (cabezales, riser, tubería subterránea y bomba), se obtuvieron los datos que se muestran en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Comparación y análisis de resultados para la presión en el resto del sistema

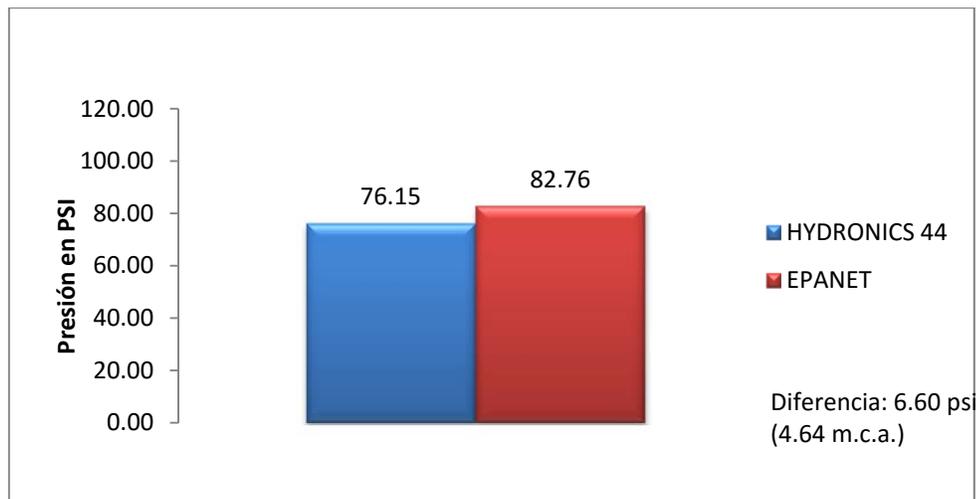
Elemento del Sistema	NODOS	HYDRONICS 44	EPANET	DIFERENCIA
		P	P	P
		psi	psi	psi
Cabezal Primario	A1	88.6	100.14	-11.54
	A2	88.3	99.75	-11.45
	A3	88	99.40	-11.40
	A4	87.8	99.08	-11.28
	A5	87.6	98.82	-11.22
	A6	87.4	98.58	-11.18
	A7	87.2	98.38	-11.18
	A8	87.1	98.20	-11.10
	A9	82.8	92.43	-9.63
	A10	82.5	92.06	-9.56
	A11	82.5	92.03	-9.53
	A12	82.5	92.02	-9.52
	AA1	91.1	103.29	-12.19
	AA2	90.8	102.88	-12.08
	AA3	90.6	102.51	-11.91
	AA4	90.3	102.19	-11.89
	AA5	90.1	101.92	-11.82
	AA6	89.9	101.70	-11.80
	AA7	89.8	101.51	-11.71
	AA8	89.7	101.35	-11.65
AA9	89.6	101.23	-11.63	
AA10	89.5	101.15	-11.65	
AA11	89.5	101.12	-11.62	
AA12	89.5	101.11	-11.61	
Cabezal Secundario	B1	55.7	56.12	-0.42
	B2	55.7	56.08	-0.38
	B3	55.6	56.00	-0.40
	B4	55.5	55.84	-0.34
	B5	55.3	55.60	-0.30
	B6	55.1	55.24	-0.14
	B7	54.7	54.75	-0.05
	B8	54.2	54.10	0.10
	B9	46.6	43.92	2.68
	B10	45.3	42.14	3.16
	B11	45.1	41.92	3.18
	B12	45.1	41.86	3.24
	BB1	55	54.79	0.21
	BB2	54.9	54.77	0.13
	BB3	54.9	54.71	0.19
	BB4	54.8	54.56	0.24
	BB5	54.6	54.31	0.29
	BB6	54.3	53.95	0.35
	BB7	54	53.44	0.56
	BB8	53.5	52.77	0.73
BB9	52.8	51.90	0.90	
BB10	52.4	51.38	1.02	
BB11	52.2	51.13	1.07	
BB12	52.2	51.06	1.14	
Riser	TR	92.5	105.10	-12.60
	BR	105.1	118.48	-13.38
	X	106.6	120.06	-13.46
	X1	106.8	120.34	-13.54
Tubería Subterránea	UG1	108.9	122.53	-13.63
	UG2	109.3	123.00	-13.70
	UG3	110.3	124.45	-14.15
Sistema de Bombeo	X2	108.6	122.74	-14.14
	PUMP	110.4	125.22	-14.82
Diferencia Promedio:				6.60

Gráfica 4.5 Resultados de Presión en el resto del Sistema



De la gráfica 4.5, se observa un patrón de comportamiento similar de presión en cabezales, riser, tubería subterránea y bomba. Donde la diferencia de presión promedio es de 6.60 psi (Gráfica 4.6).

Gráfica 4.6 Presiones promedio en el resto del sistema.



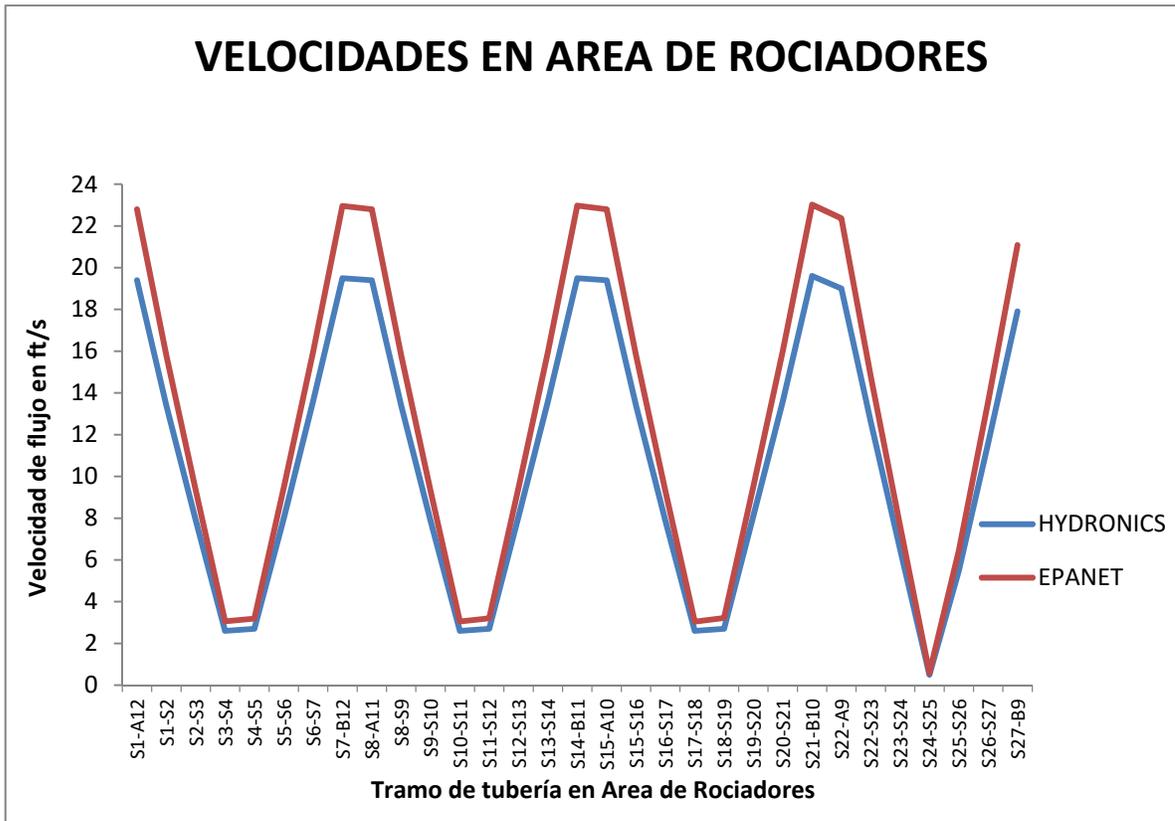
Las presiones modeladas por EPANET, cumplen con lo establecido por NFPA 13 en el resto del sistema, pues las presiones proyectadas no exceden el valor de presión máxima permitida para el sistema de rociadores, establecido en 175 psi.

4.6.3 Resultados de Velocidad en los Nodos.

Tabla 4.6 Comparación y análisis de velocidades en el área de Rociadores

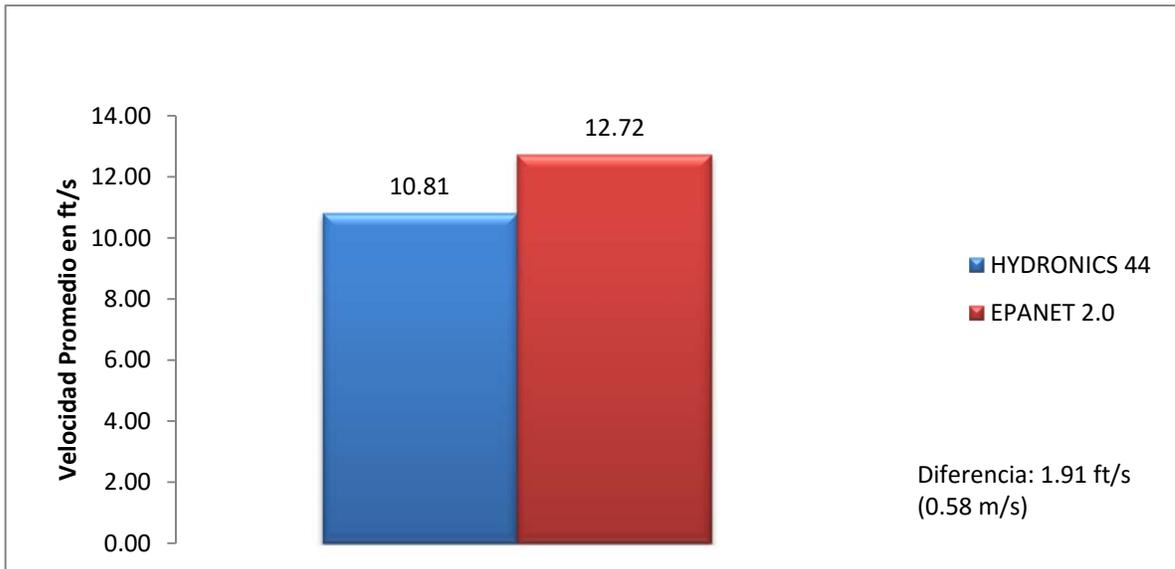
TRAMOS			HYDRONICS 44	EPANET 2.0	DIFERENCIA
			V (ft/s)	V (ft/s)	V (ft/s)
S1	A12	S1-A12	19.4	22.8	-3.4
S1	S2	S1-S2	13.4	15.81	-2.41
S2	S3	S2-S3	7.9	9.33	-1.43
S3	S4	S3-S4	2.6	3.06	-0.46
S4	S5	S4-S5	2.7	3.19	-0.49
S5	S6	S5-S6	8	9.47	-1.47
S6	S7	S6-S7	13.6	15.96	-2.36
S7	B12	S7-B12	19.5	22.96	-3.46
S8	A11	S8-A11	19.4	22.8	-3.4
S8	S9	S8-S9	13.4	15.81	-2.41
S9	S10	S9-S10	7.9	9.33	-1.43
S10	S11	S10-S11	2.6	3.05	-0.45
S11	S12	S11-S12	2.7	3.2	-0.5
S12	S13	S12-S13	8.1	9.48	-1.38
S13	S14	S13-S14	13.6	15.97	-2.37
S14	B11	S14-B11	19.5	22.97	-3.47
S15	A10	S15-A10	19.4	22.8	-3.4
S15	S16	S15-S16	13.4	15.81	-2.41
S16	S17	S16-S17	7.9	9.32	-1.42
S17	S18	S17-S18	2.6	3.04	-0.44
S18	S19	S18-S19	2.7	3.22	-0.52
S19	S20	S19-S20	8.1	9.51	-1.41
S20	S21	S20-S21	13.6	16.01	-2.41
S21	B10	S21-B10	19.6	23.02	-3.42
S22	A9	S22-A9	19	22.36	-3.36
S22	S23	S22-S23	12.6	14.78	-2.18
S23	S24	S23-S24	6.5	7.62	-1.12
S24	S25	S24-S25	0.5	0.58	-0.08
S25	S26	S25-S26	5.5	6.46	-0.96
S26	S27	S26-S27	11.6	13.59	-1.99
S27	B9	S27-B9	17.9	21.08	-3.18

Gráfica 4.7 Velocidades en el Área de Rociadores.



De la tabla 4.6 y la gráfica 4.7, se observa que la velocidad máxima se obtiene en el tramo S21 a B10, en ambos software. La velocidad proyectada en HYDRONICS es de 19.6 ft/s, mientras que EPANET refleja una velocidad máxima de 23.02 ft/s, la diferencia es de 3.42 ft/s.

Gráfica 4.8 Velocidades Promedio en el Área de Rociadores



El comportamiento de la velocidad en el área de cálculo, tiene un patrón similar en ambos software, la velocidad máxima observada se refleja en el mismo tramo de tubería, con una diferencia de 3.42 ft/s.

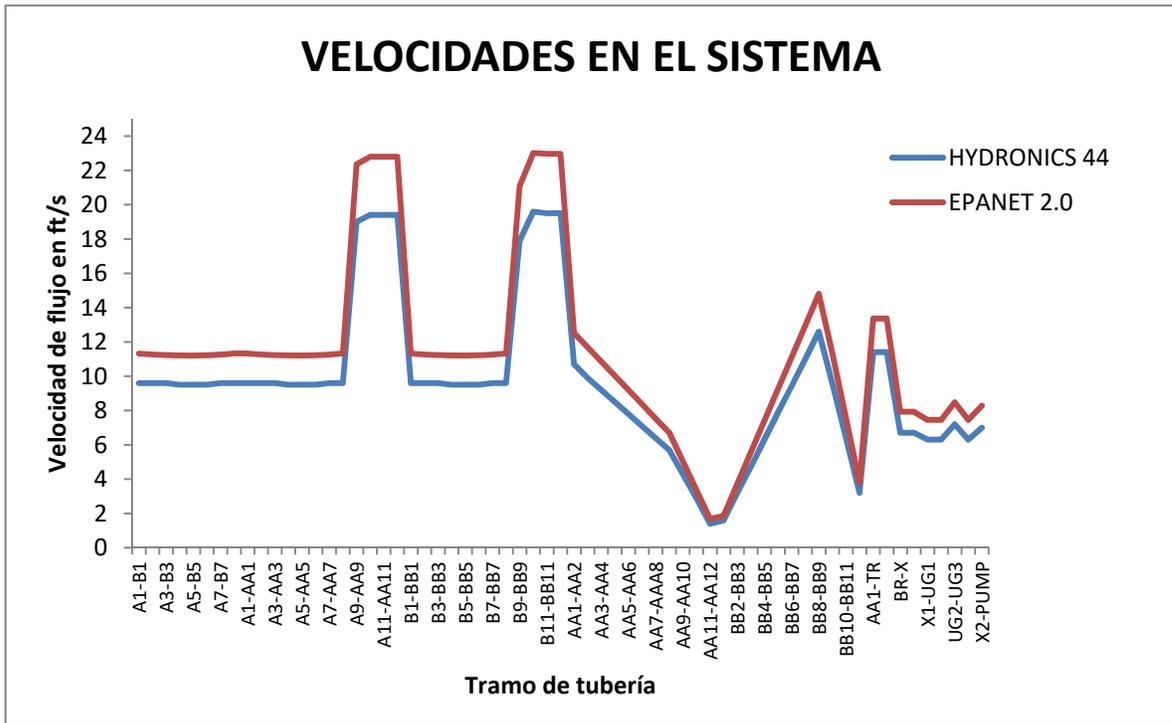
En general, el promedio de velocidades para el área de cálculo entre ambos programas proyecta una diferencia mínima de 1.91 ft/s (0.58 m/s).

4.6.4 Resultados de Velocidad en el Resto del Sistema.

Tabla 4.7 Comparación y análisis de velocidades en el sistema.

TRAMOS			HYDRONICS 44	EPANET 2.0	DIFERENCIA
			V (ft/s)	V (ft/s)	V (ft/s)
A1	B1	A1-B1	9.6	11.32	-1.72
A2	B2	A2-B2	9.6	11.27	-1.67
A3	B3	A3-B3	9.6	11.23	-1.63
A4	B4	A4-B4	9.5	11.21	-1.71
A5	B5	A5-B5	9.5	11.2	-1.7
A6	B6	A6-B6	9.5	11.22	-1.72
A7	B7	A7-B7	9.6	11.26	-1.66
A8	B8	A8-B8	9.6	11.33	-1.73
A1	AA1	A1-AA1	9.6	11.32	-1.72
A2	AA2	A2-AA2	9.6	11.27	-1.67
A3	AA3	A3-AA3	9.6	11.23	-1.63
A4	AA4	A4-AA4	9.5	11.21	-1.71
A5	AA5	A5-AA5	9.5	11.2	-1.7
A6	AA6	A6-AA6	9.5	11.22	-1.72
A7	AA7	A7-AA7	9.6	11.26	-1.66
A8	AA8	A8-AA8	9.6	11.33	-1.73
A9	AA9	A9-AA9	19	22.36	-3.36
A10	AA10	A10-AA10	19.4	22.8	-3.4
A11	AA11	A11-AA11	19.4	22.8	-3.4
A12	AA12	A12-AA12	19.4	22.8	-3.4
B1	BB1	B1-BB1	9.6	11.32	-1.72
B2	BB2	B2-BB2	9.6	11.27	-1.67
B3	BB3	B3-BB3	9.6	11.23	-1.63
B4	BB4	B4-BB4	9.5	11.21	-1.71
B5	BB5	B5-BB5	9.5	11.2	-1.7
B6	BB6	B6-BB6	9.5	11.22	-1.72
B7	BB7	B7-BB7	9.6	11.26	-1.66
B8	BB8	B8-BB8	9.6	11.33	-1.73
B9	BB9	B9-BB9	17.9	21.08	-3.18
B10	BB10	B10-BB10	19.6	23.02	-3.42
B11	BB11	B11-BB11	19.5	22.97	-3.47
B12	BB12	B12-BB12	19.5	22.96	-3.46
AA1	AA2	AA1-AA2	10.7	12.52	-1.82
AA2	AA3	AA2-AA3	9.9	11.69	-1.79
AA3	AA4	AA3-AA4	9.2	10.86	-1.66
AA4	AA5	AA4-AA5	8.5	10.03	-1.53
AA5	AA6	AA5-AA6	7.8	9.2	-1.4
AA6	AA7	AA6-AA7	7.1	8.38	-1.28
AA7	AA8	AA7-AA8	6.4	7.54	-1.14
AA8	AA9	AA8-AA9	5.7	6.71	-1.01
AA9	AA10	AA9-AA10	4.3	5.05	-0.75
AA10	AA11	AA10-AA11	2.9	3.37	-0.47
AA11	AA12	AA11-AA12	1.4	1.68	-0.28
BB1	BB2	BB1-BB2	1.6	1.86	-0.26
BB2	BB3	BB2-BB3	3.2	3.72	-0.52
BB3	BB4	BB3-BB4	4.7	5.56	-0.86
BB4	BB5	BB4-BB5	6.3	7.41	-1.11
BB5	BB6	BB5-BB6	7.9	9.25	-1.35
BB6	BB7	BB6-BB7	9.4	11.1	-1.7
BB7	BB8	BB7-BB8	11	12.95	-1.95
BB8	BB9	BB8-BB9	12.6	14.81	-2.21
BB9	BB10	BB9-BB10	9.6	11.35	-1.75
BB10	BB11	BB10-BB11	6.4	7.56	-1.16
BB11	BB12	BB11-BB12	3.2	3.78	-0.58
AA1	TR	AA1-TR	11.4	13.36	-1.96
TR	BR	TR-BR	11.4	13.36	-1.96
BR	X	BR-X	6.7	7.93	-1.23
X	X1	X-X1	6.7	7.93	-1.23
X1	UG1	X1-UG1	6.3	7.45	-1.15
UG1	UG2	UG1-UG2	6.3	7.45	-1.15
UG2	UG3	UG2-UG3	7.2	8.48	-1.28
UG3	X2	UG3-X2	6.3	7.45	-1.15
X2	PUMP	X2-PUMP	7	8.29	-1.29

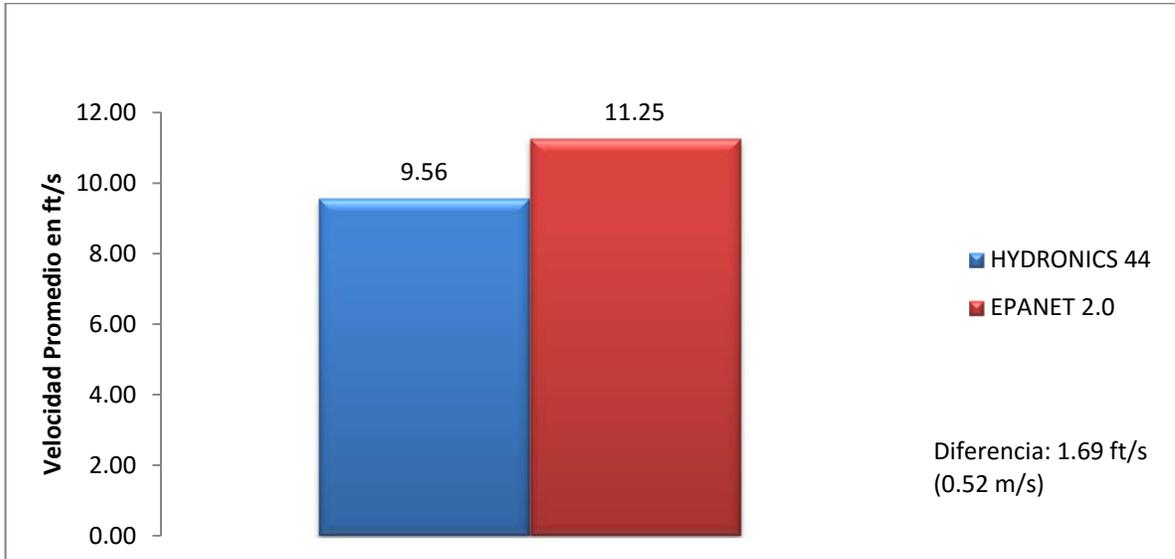
Gráfica 4.9 Velocidades en el Sistema.



La tabla 4.7 y la gráfica 4.9, nos muestran que la velocidad máxima se encuentra en el tramo B10 – BB10, con un valor de 19.6 ft/s en HYDRONICS y de 23.02 ft/s en EPANET, lo cual refleja una diferencia de 3.42 ft/s.

Las velocidades promedio obtenidas en el resto del sistema, que involucra a cabezales, riser, tubería subterránea y bomba se muestran en la gráfica 4.10, donde se observa que la diferencia obtenida en HYDRONICS Y EPANET es mínima.

Gráfica 4.10 Velocidades Promedio en el Sistema



NFPA 13 no contiene límites de velocidad debido a que la Comisión de Rociadores Automáticos ha considerado desde hace tiempo que las velocidades de tuberías se auto limitan. Las pérdidas de presión aumentan exponencialmente a medida que aumentan las velocidades, por lo que los tamaños de los tubos deben ser aumentados para hacer uso de presiones de suministro de agua disponibles.

Sin embargo, es importante observar y analizar el comportamiento de manera comparativa con lo proyectado en HYDRONICS, de esta forma se demuestra que la similitud de valores en este parámetro es semejante.

4.6.5 Gráfica Hidráulica de Demanda del Sistema.

Los cálculos y resultados hidráulicos para un sistema contra incendio, se resumen en lo que se le denomina “Gráfica Hidráulica del Sistema de Rociadores”, la cual compara la curva de suministro contra la curva de demanda.

Existen dos condiciones clave para evaluar el desempeño y el diseño correcto del sistema con base en la gráfica hidráulica:

1. La curva de demanda, deberá ser menor a la curva de suministro. Las curvas no deben cruzarse.
2. El sistema deberá contar con una presión de colchón mínima de 10 psi.

La grafica 4.11, muestra el comportamiento del sistema proyectado por HYDRONICS. La grafica 4.12, se construyó a partir de los datos obtenidos de la modelación en EPANET.

Los valores de la curva de suministro de la tabla de 4.8, se obtuvieron de la curva de desempeño de la bomba (Figura 3.2), los cuales se encuentran resumidos en la tabla 4.2.

Los datos de la curva de demanda de la tabla 4.8, se obtienen de la siguiente manera:

Presión disponible: La suma de flujo de los rociadores (tabla 4.4) adicionando el flujo para mangueras (500 gpm), a una presión en el punto de la bomba, obtenida en el nodo PUMP de la tabla 4.5.

Presión requerida: La suma de flujo de los rociadores (tabla 4.4) mas 500 gpm para mangueras, a presión estática (111 psi).

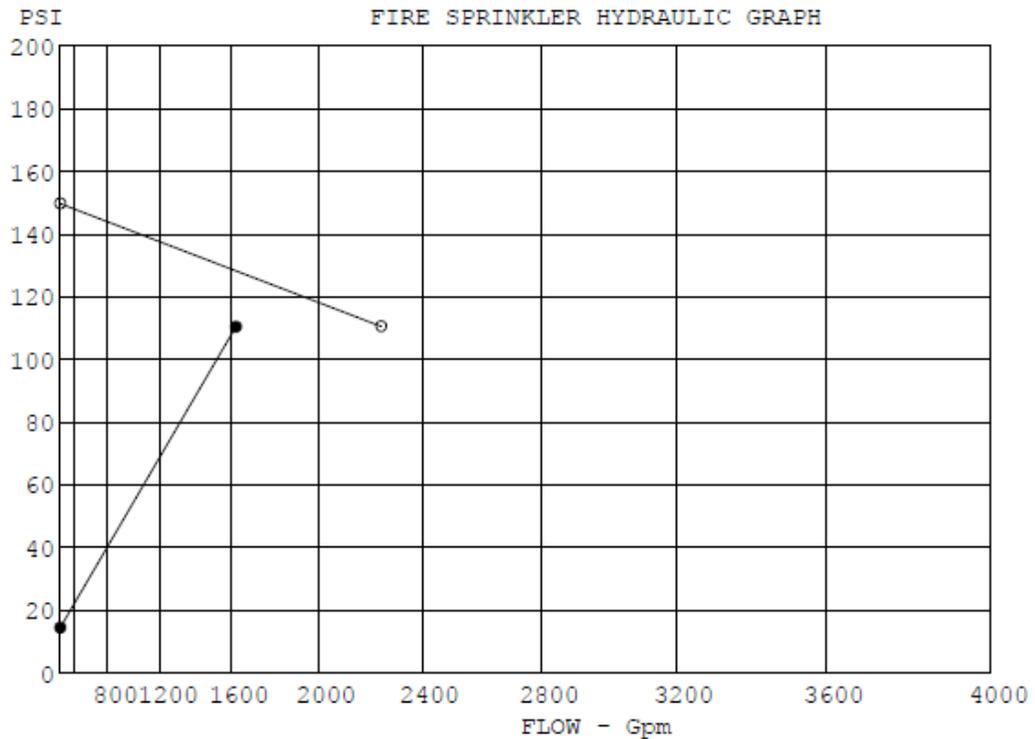
Presión de colchón: Diferencia entre la presión disponible, menos la presión estática

Gráfica 4.11 Gráfica Hidráulica para el Sistema de Rociadores en HYDRONICS

HYDRONICS: FIRE SPRINKLER HYDRAULICS 4.3 - SUBMITTAL.

ENGINEERS : MyDCI - Ingieria Civil
ADDRESS :

DATE : 09-30-2015 FILE : C:\SYS#1.HYD
JOB : SISTEMA #1 MANUFACTURA



Supply Curve

 Demand Curve

Static : 149.8
 Resid : 110.6
 Flow : 2250.0
 Source Pump Rated 140 Psi @ 1500 Gpm

Avl Pr : 128.4 @ 1624
 Req Pr : 110.4 @ 1624
 Pr Cush: 17.9

Copyright: Hydronics Engineering, 2004.
 34119 Fremont Bl, Suite 609,
 Fremont, CA. 94555.
 (800) 845-9819.

Gráfica 4.12 Gráfica Hidráulica para el Sistema de Rociadores a partir de los resultados en EPANET.

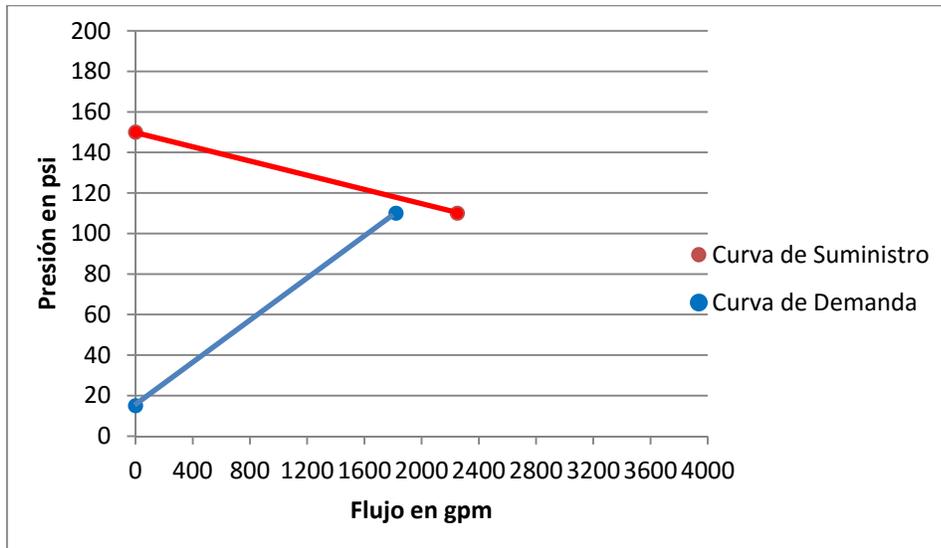


Tabla 4.8 Valores para la construcción de la gráfica de Demanda Hidráulica.

Curva de Suministro:		Curva de Demanda:	
Estática:	150	Presión Disponible:	1821.55 gpm @ 125.22 psi
Residual:	111	Presión Requerida:	1821.55 gpm @ 111 psi
Flujo:	2250	Presión de Colchón:	14.22 psi
Bomba:	1500 @ 140		

Los resultados de esta grafica muestran que el cálculo desarrollado en EPANET cumple con los parámetros de aprobación requeridos para un sistema automático de rociadores. Pues la presión de colchón supera los 10 psi, y la curva de demanda es menor a la curva de suministro del sistema.

La diferencia más significativa entre el cálculo en HYDRONICS y EPANET, radica en el flujo de la demanda total del sistema. EPANET, proyecta un flujo superior por 197.55 gpm. Sin embargo, la presión de colchón, es decir la diferencia entre la presión disponible y la presión requerida entre ambos software es de 3.7 psi.

CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Es indispensable tomar medidas para actualizar, modificar y enriquecer las normas mexicanas y reglamentos en el área de protección contra incendios, específicamente en el diseño y cálculo de sistemas de rociadores automáticos a base de agua. Debido a que la Norma Oficial Mexicana y los reglamentos locales no cuentan con criterios técnicos definidos para el cálculo y diseño de rociadores automáticos contra incendio.
2. El unificar criterios en las normas nacionales y locales es de vital importancia para el desarrollo y diseño de sistemas contra incendios y de rociadores automáticos. Las normas no deben dar pie a interpretaciones por parte del diseñador, cliente o autoridad competente, éstas deben ser claras y concisas.
3. El análisis para la clasificación de riesgo de una propiedad, debe realizarse con base en las actividades desempeñadas y el material almacenado y no depender del área de construcción del lugar.
4. El diseño por FM y NFPA, son semejantes para el cálculo de áreas de manufactura con un riesgo extraordinario grupo dos, y una altura de 30 a 60 ft de la construcción, bajo el método de área densidad.
5. Los criterios de FM, son más conservadores que los dictados por NFPA. La aseguradora brinda una metodología más detallada para el desarrollo de un proyecto de sistemas automáticos de rociadores.

6. Es factible técnicamente utilizar EPANET 2.0, para el cálculo de sistemas automáticos de rociadores contra incendio tipo parrilla. Las diferencias mostradas contra un programa de uso exclusivo para el cálculo de rociadores (HYDRONICS), radican en la diferencia de flujo en el sistema. EPANET proyecta alrededor de 200 gpm más del gasto proyectado por HYDRONICS. Sin embargo, la diferencia de velocidad máxima y la diferencia en la presión de colchón del sistema, son mínimas.

Es posible que estas diferencias se deban a las diferencias en el modo de cálculo e iteraciones de cada software. Recordando que EPANET no cuenta con un módulo desarrollado para el cálculo de sistemas automáticos contra incendios, únicamente responde al ingreso de datos en el nodo, como un emisor.

7. Es posible utilizar un software como EPANET para el diseño de rociadores, siempre y cuando se tenga un conocimiento claro de normas y conceptos hidráulicos y contra incendio.

5.2 Recomendaciones

1. Desarrollar un módulo más amplio para el diseño y cálculo de rociadores automáticos a base de agua en EPANET, de tal manera que a semejanza de los software de la industria contra incendio, EPANET proyecte una gráfica de manera automática que permita concluir el desempeño hidráulico del sistema.
2. Diseñar y realizar un análisis comparativo en EPANET para otros tipos y configuraciones de sistemas automáticos de rociadores a base de agua. Para evaluar su desempeño aplicable en otros proyectos.
3. Adaptar a nuestro entorno los criterios de diseño hidráulico para sistemas automáticos de rociadores contra incendio, con base en las características propias de Mexicali.
4. Reevaluar, Actualizar y modificar los reglamentos estatales y municipales, a partir de las modificaciones a las Normas Oficiales Mexicanas.
5. Impulsar la hidráulica contra incendio y la capacitación de ingenieros y técnicos del área, previendo el cambio en las reformas en las Normas Nacionales y la nueva norma mexicana para sistemas automáticos de rociadores. Y seguir siendo un ejemplo y apoyo para Latinoamérica en el área contra incendio.
6. Es indispensable comenzar a recabar estadísticas de incendio industrial y residencial a nivel nacional y local. Estos datos permitirán no solo la mejora continua de la normativa, sino también el desarrollo de la investigación y la ingeniería en el área de combate de incendios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Hernandez, “Boletín de Ingeniería #02: Importancia de los Sistemas Contra Incendio,” #02, Mexicali B.C., p. 5, 2013.
- [2] L. Peña, “Boletín de Ingeniería #21: Protección SCI y la NOM-002,” 21, Mexicali B.C., p. 7, 2012.
- [3] C. Cavanaugh, “The Birth of NFPA,” *NFPA*, 1996. [Online]. Available: <http://www.nfpa.org/about-nfpa/nfpa-overview/history-of-nfpa>. [Accessed: 01-Jan-2014].
- [4] E. Lopez, “Boletín de Ingeniería #01: Historia de los Rociadores,” 01, Mexicali B.C., p. 10, 2012.
- [5] NFPA, *Manual de Protección contra Incendios. Tomo II*, Quinta. Colombia: NFPA, 2009.
- [6] J. Hernandez, “Boletín de Ingeniería #07: Rociadores ESFR,” #7, Mexicali B.C., p. 7, 2012.
- [7] FM Global Group, “FM Approvals,” *More than a Century of Technical Integrity*, 2016. [Online]. Available: <http://www.fmapprovals.com/about-fm-approvals/history>. [Accessed: 05-May-2016].
- [8] Underwriters Laboratories, “UL Laboratories,” *The Birth of UL*, 2016. [Online]. Available: <http://www.ul.com/aboutul/history/>. [Accessed: 01-Jan-2014].
- [9] NFPA, *NFPA 13 “Standard for the Installation of Sprinkler Systems.”* USA: National Fire Protection Association, 2016.
- [10] B. R. Sutteu, “Fire Protection System Design,” no. June, pp. 78–81, 2006.
- [11] B. J. H. Talbert, “Fire protection engineering : Where are we today ? Where are we going ?,” no. December, pp. 26–30, 2010.
- [12] SFPE, “Society of Fire Protection Engineers.” [Online]. Available: <http://www.sfpe.org>. [Accessed: 25-Oct-2014].
- [13] “The Confederation of Fire Protection Associations-International.” [Online]. Available: <http://www.cfpa-i.org>. [Accessed: 25-Oct-2014].

- [14] CTIF, "CTIF - Comité Technique International de Prévention et d'Extinction du Feu." [Online]. Available: <http://www.ctif.org>. [Accessed: 26-Oct-2014].
- [15] NFPA, "National Fire Protection Association - NFPA." [Online]. Available: <http://www.nfpa.org/about-nfpa>. [Accessed: 15-Oct-2014].
- [16] NFPA, "Fire Protection Research Foundation." [Online]. Available: <http://www.nfpa.org/research/fire-protection-research-foundation>. [Accessed: 26-Oct-2014].
- [17] NFSA, "History of the National Fire Sprinkler Association," 2016. [Online]. Available: <http://www.nfsa.org/?page=NFSABio>. [Accessed: 11-May-2016].
- [18] IFSA, "IFSA - International Fire Sprinkler Association." [Online]. Available: <http://www.nfsa.org/page/IFSA/IFSA.htm>. [Accessed: 11-May-2016].
- [19] EFSN, "European Fire Sprinkler Network." [Online]. Available: <http://eurosprinkler.org/es/>. [Accessed: 04-Dec-2014].
- [20] F. GLOBAL., "FM Global - Resilience Index." [Online]. Available: <http://www.fmglobal.com/research-and-resources/tools-and-resources/resilienceindex#!year=2016&idx=Index&handler=map>. [Accessed: 01-May-2016].
- [21] Oxford Metrica., "Annual Report 2014 - FM Global Resilience Index," 2014.
- [22] Oxford Metrica., "Annual Report 2015 - FM Global Resilience Index," 2015.
- [23] Oxford Metrica., "Annual Report 2016 - FM Global Resilience Index," 2016.
- [24] EFSN, "Exitos de Rociadores Automaticos en el Reino Unido," Londres, Inglaterra, 2013.
- [25] EFSN, "Water Mist System Saves Restaurant in Oslo," *May 06*, 2016. [Online]. Available: <http://eurosprinkler.org/water-mist-system-saves-restaurant-in-oslo/>. [Accessed: 11-May-2016].
- [26] EFSN, "BSA Publishes Sprinkler Saves Online Interactive Map," *Marzo 14*, 2016. [Online]. Available: <http://eurosprinkler.org/bsa-publishes-sprinkler-saves-online-interactive-map/>. [Accessed: 11-May-2016].
- [27] BSA, "Map of fires and sprinkler saves," Londres, Inglaterra, 2016.
- [28] M. Kealy, "Fire Protection in the Persian Gulf Region," *Consulting, Specyfing Engineer*, p. 4, Feb-2007.

- [29] EFSN, "Dubai Hotel Fire Could Have Been Worse," *06 Enero*, 2016. [Online]. Available: <http://eurosprinkler.org/dubai-hotel-fire-could-have-been-worse/>. [Accessed: 11-May-2016].
- [30] K. Frank, M. Spearpoint, and N. Challands, "Uncertainty in Estimating the Fire Control Effectiveness of Sprinklers from New Zealand Fire Incident Reports," *Fire Technol.*, vol. 50, no. 3, pp. 611–632, 2014.
- [31] A. H. B. Editor, *Fire Engineering Design Guide*, 2nd ed., vol. 53, no. 9. Christchurch, New Zeland: Centre for Advanced Engineering, 2001.
- [32] H. Sufianto and A. R. Green, "Urban Fire Situation in Indonesia," *Fire Technol.*, vol. 48, no. 2, pp. 367–387, 2012.
- [33] L. A. Vazquez Moreno, "AL Registra la mayor siniestralidad en incendio en casas y edificios; Mexico sumó 15 mil en un año.," *14*, Mexico D.F., p. 1, 14-Mar-2014.
- [34] NFPA Operaciones Internacionales, "Guía para la Organización y el Funcionamiento de los Capítulos de la NFPA," Quincy, MA, USA, 2008.
- [35] NFPA, "NFPA Journal Latinoamerica - Capítulos Nacionales - Colombia," 2004. [Online]. Available: <http://www.capitulosnfpa.org/paises/colombia/acerca-del-capitulo.php>. [Accessed: 27-Jan-2015].
- [36] AMRACI, "Nace una nueva Organizacion, ANRACI Colombia con Apoyo de AMRACI y NFSA," *Febrero-Abril 2015*, no. 7, Mexico D.F., p. 8, 2015.
- [37] ANRACI, "ANRACI - Colombia," 2016. [Online]. Available: <http://anraci.org/>. [Accessed: 11-May-2016].
- [38] R. M. Tavares, R. M. T. Fire, C. Safety, and R. P. Augusto, "Fire Safety Standards in Brazil on Smoke Detectors : Why was the Commissioning with Real Smoke Stopped ?," pp. 499–502, 2015.
- [39] ABspk, "Associação Brasileira de Sprinklers," 2016. [Online]. Available: <http://www.abspk.org.br>.
- [40] J. Padula, "Los Capítulos Internacionales de la NFPA toman impulso.," *NFPA J. Latinoam.*, vol. NFPA Desa, no. Web Issue, p. 1, 2004.
- [41] NFPA, "NFPA Journal Latinoamerica - Capítulos Nacionales - Argentina," 2004. [Online]. Available: <http://www.capitulosnfpa.org/paises/argentina/acerca-del-capitulo.php>. [Accessed: 27-Jan-2015].

- [42] JLA NFPA, “Asunción adopta NFPA 1 y 101,” p. 1, 2014.
- [43] “Renuevan ordenanza contra incendio tras 27 años,” *HOY*, Asunción, Paraguay, p. 1, 01-Apr-2015.
- [44] AMRACI, “Porque los Rociadores Automaticos.” AMRACI, p. 1, 2014.
- [45] Secretaría del Trabajo y Previsión Social., *NOM-002-STPS-2010 Condiciones de seguridad-Prevencion y proteccion contra incendios en los centros de trabajo*. Mexico: Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2010.
- [46] AMRACI, “AMRACI - Quienes Somos,” 2013. [Online]. Available: <http://www.amraci.org/quienes.php>. [Accessed: 01-Jan-2015].
- [47] AMRACI, “Certificacion en Tecnología de Rociadores Automaticos Contra Incendio (CETRACI).” AMRACI, p. 1, 2014.
- [48] AMRACI, “Alianzas - Protección Civil.” AMRACI, 2014.
- [49] AMRACI, “Se concluye el Proyecto NMX de Rociadores Automaticos.” AMRACI, p. 1, 2015.
- [50] AMRACI, “Programas de Desarrollo Profesional para la Industria de Rociadores,” no. 4, Mexico D.F., p. 8, Jul-2014.
- [51] AMRACI, “Regulacion: ‘Comites NMX.’” AMRACI, Mexico, D.F., p. 1, 2015.
- [52] AMRACI, “Incluyen Rociadores en el Reglamento del Municipio de Garza García, Nuevo Leon,” no. 6, Mexico D.F., p. 8, 2014.
- [53] M. de G. G. N. Leon., “*Reglamento de Zonificacion y Uso de Suelo del Municipio de Garza García, Nuevo León.*” Mexico: Municipio de Garza García Nuevo León, 2016, p. 344.
- [54] FM GLOBAL. AMRACI., “Entendiendo la protección contra incendio con rociadores automáticos,” *Sprink. Connect.*, no. 1, pp. 1–8, 2012.
- [55] Q. T. C. Ivan, “Principios Basicos para el Diseno de Sistemas de Rociadores para Proteccion Contra Incendios.” Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico, D.F., 2011.
- [56] NFPA, *Manual de Proteccion contra Incendios. Tomo I*, Quinta. Colombia: NFPA, 2009.

- [57] C. A. . Ericson, “Concise Encyclopedia of System Safety : Definition of Terms and Concepts,” in *Concise Encyclopedia Of System Safety: Definition Of Terms And Concepts*, N. J. Hoboken, Ed. Wiley, 2011, p. 159.
- [58] Secretaría del Trabajo y Previsión Social, *NOM-018-STPS-2000. Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo*. Mexico: Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2000, pp. 17–19.
- [59] C. M. G. H, “Evaluacion del grado de riesgo de incendio en una escuela de nivel superior: Propuesta de mejora.” Instituto Politecnico Nacional, Mexico D.F., 2011.
- [60] B. M. S. Kreith Frank, Manglik Raj M, *Principios de Transferencia de Calor*, 2012th ed. Mexico D.F.: Cengage Learning Latinoamerica, 2012.
- [61] C. S. Ryan, “Salud y Seguridad en el Trabajo,” EUNED, Ed. 2002.
- [62] B. C. de Madrid., “Desarrollo de un Incendio: Flashover y Backdraft,” in *Tecnicas de Intervencion de Incendios de Interiores*, 2004.
- [63] Factory Mutual Insurance Company, *FM Global Property Loss Prevention Data Sheets DS 4-5: Portable Extinguishers*, no. April. USA: Factory Mutual Insurance Company, 2012, pp. 1–28.
- [64] NFPA, *NFPA 10: Standard for Portable Fire Extinguishers*. USA: National Fire Protection Association, 2013.
- [65] *NORMA TÉCNICA COMPLEMENTARIA PARA EL PROYECTO ARQUITÉCTONICO*. Mexico: Gobierno del Distrito Federal, 2011.
- [66] R. Kyle, “Análisis de Riesgos: Un principio fundamental en la prevencion.,” *Revista Contra Incendio*, Mexico D.F., pp. 13–15, 2015.
- [67] NFPA, *NFPA-101: Life Safety Code*. USA: www.nfpa.org, 2015.
- [68] C. Moran, “Boletin de Ingenieria #31: Riesgo por Ocupacion y Almacenamiento,” Mexicali B.C., 31, 2014.
- [69] NFPA, *NFPA 13 “Standard for the Installation of Sprinkler Systems.”* USA: National Fire Protection Association, 2013.
- [70] Factory Mutual Insurance Company, *FM Global Property Loss Prevention Data Sheets DS 2-0 Installation Guidelines for Automatic Sprinklers*. USA: Factory Mutual Insurance Company, 2014.

- [71] Factory Mutual Insurance Company., *FM Global Property Loss Prevention Data Sheets DS 3-26: Water Demand For Fire Protection*. U.S.A.: Factory Mutual Insurance Company, 2012, pp. 1–6.
- [72] Factory Mutual Insurance Company, *FM Global Property Loss Prevention Data Sheets DS 8-1 Commodity Classification*. USA: Factory Mutual Insurance Company, 2015.
- [73] F. Bosquez Yanez, “Diseno de un Sistema Contra Incendios en base a la normativa NFPA para la empresa metalurgica ecuatoriana ADELCA C.A.,” Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, 2013.
- [74] E. Martinez Lozano and N. Barreto Leon, “Diseño de un Sistema Contra Incendio para una Empresa Productora de Cereales.” Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2007.
- [75] NFPA, *NFPA 14 “Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems.”* USA: National Fire Protection Association, 2013.
- [76] University of Maryland, “Department of Fire Protection Engineering,” 2015. [Online]. Available: <http://www.enfp.umd.edu/aboutus/profession>. [Accessed: 17-Sep-2015].
- [77] A. Alvarez Rodriguez, “AN INTEGRATED FRAMEWORK FOR THE NEXT GENERATION OF RISK-INFORMED PERFORMANCE-BASED,” Worcester Polytechnic Institute, 2012.
- [78] B. Horwitz-Bennet, “Fire Protection The right Balance,” Feb-2004.
- [79] Factory Mutual Insurance Company., *FM Global Property Loss Prevention Data Sheets DS 3-2 Water Tanks For Fire Protection*. USA: Factory Mutual Insurance Company, 2010.
- [80] M. de Mexicali., *REGLAMENTO DE PREVENCIÓN DE INCENDIOS PARA EL MUNICIPIO DE MEXICALI, BAJA CALIFORNIA*, no. 29. 2005.
- [81] NFPA, *NFPA 22 “Standard for Water Tanks for Private Fire Protection.”* USA: National Fire Protection Association, 2013.
- [82] Factory Mutual Insurance Company., *FM Global Property Loss Prevention Data Sheet DS 3-7 “Fire Protection Pumps.”* U.S.A.: Factory Mutual Insurance Company, 2008, pp. 1–63.
- [83] NFPA, *NFPA 20 “Standard for The Installation of Stationary Pumps For Fire Protection.”* USA: National Fire Protection Association, 2016.

- [84] NFPA, *NFPA 24 "Standard for the Installation of Private Fire Service Mains and Their Appurtenances."* U.S.A.: National Fire Protection Association, 2016.
- [85] Factory Mutual Insurance Company., *FM Global Property Loss Prevention Data Sheet DS 3-10 "Installation and Maintenance of Private Fire Service Mains and Their Appurtenances."* U.S.A.: Factory Mutual Insurance Company, 2000.
- [86] E. Lopez, "Boletin de Ingenieria #12: 'Redes Exteriores,'" 12, Mexicali B.C., pp. 1–8, 2014.
- [87] C. Moran, "Boletín de Ingeniería #33 - Configuración de sistemas," Mexicali B.C., 33, 2014.
- [88] NFPA, *NFPA 14 "Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems."* U.S.A., 2016.
- [89] P. Gil, "Boletin de Ingenieria #09: Gabinetes contra incendio.," Mexicali B.C., 9, 2014.
- [90] J. Hernandez, "Boletin de Ingenieria #51: 'Extintores Contra Incendio,'" Mexicali B.C., 51, 2014.
- [91] P. Gil, "Boletin de Ingenieria #14: 'Soportes,'" Mexicali B.C., 13, 2013.
- [92] L. Peña, "Boletin de Ingenieria #13: 'Soporteria Sismica,'" Mexicali B.C., 13, 2013.
- [93] INFIED, "Volumen 4 - Seguridad Estructural - Diseño por Sismo," in *Normas Y especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones.*, Mexico D.F.: infied, 2011, p. 9,10,11.
- [94] FM Global Group, *M Global Property Loss Prevention Data Sheet DS 2-8: Earthquake Protection*, no. Mayo. U.S.A.: Factory Mutual Insurance Company, 2010, pp. 1–65.
- [95] L. Peña, "Boletin de Ingenieria #5: Tipos de Sistemas Contra Incendios.," Mexicali B.C., 5, 2013.
- [96] R. P. Fleming, "Chapter 3. Automatic Sprinkler System Calculation.," pp. 72–87.
- [97] V. Sundararajan, "What is Modeling and Simulation and Software Engineering?," India.

- [98] Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano, "Que es Modelado & Simulación (M&S)," *Que es Modelado & Simulación (M&S)*, 2016. [Online]. Available: <http://www.utadeo.edu.co/es/link/maestria-en-modelado-y-simulacion-mms/26106/layout-1/que-es-modelado-y-simulacion-ms>. [Accessed: 14-Apr-2016].
- [99] Factory Mutual Insurance Company, *FM Global Loss Property Prevention Data Sheets DS 3-0 Hydraulics of Fire Protection Systems*. USA: Factory Mutual Insurance Company, 2010.
- [100] L. A. Rossman, "EPANET 2. Manual de usuario," *Media*, no. Enero. Universidad Politecnica de Valencia, pp. 1–213, 2006.
- [101] M. Martinez Sandoval, "Criterios y Recomendaciones para la Evaluacion Hidraulica de Redes de Sistemas Contra incendio," Universidad Autónoma de Mexico, 2011.
- [102] L. A. Rossman, "EPANET 2. Users Manual," no. 1–30. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati OH, USA, 2000.
- [103] A. Castillos Cuevas, C. Tedde, and Et.Al., "INSTALACIÓN CONTRA INCENDIOS," 2011.
- [104] Factory Mutual Insurance Company, *FM Global Property Loss Prevention Data Sheets DS 2-89 Pipe Friction Loss Tables*, no. January. USA: Factory Mutual Insurance Company, 2001, pp. 2–64.