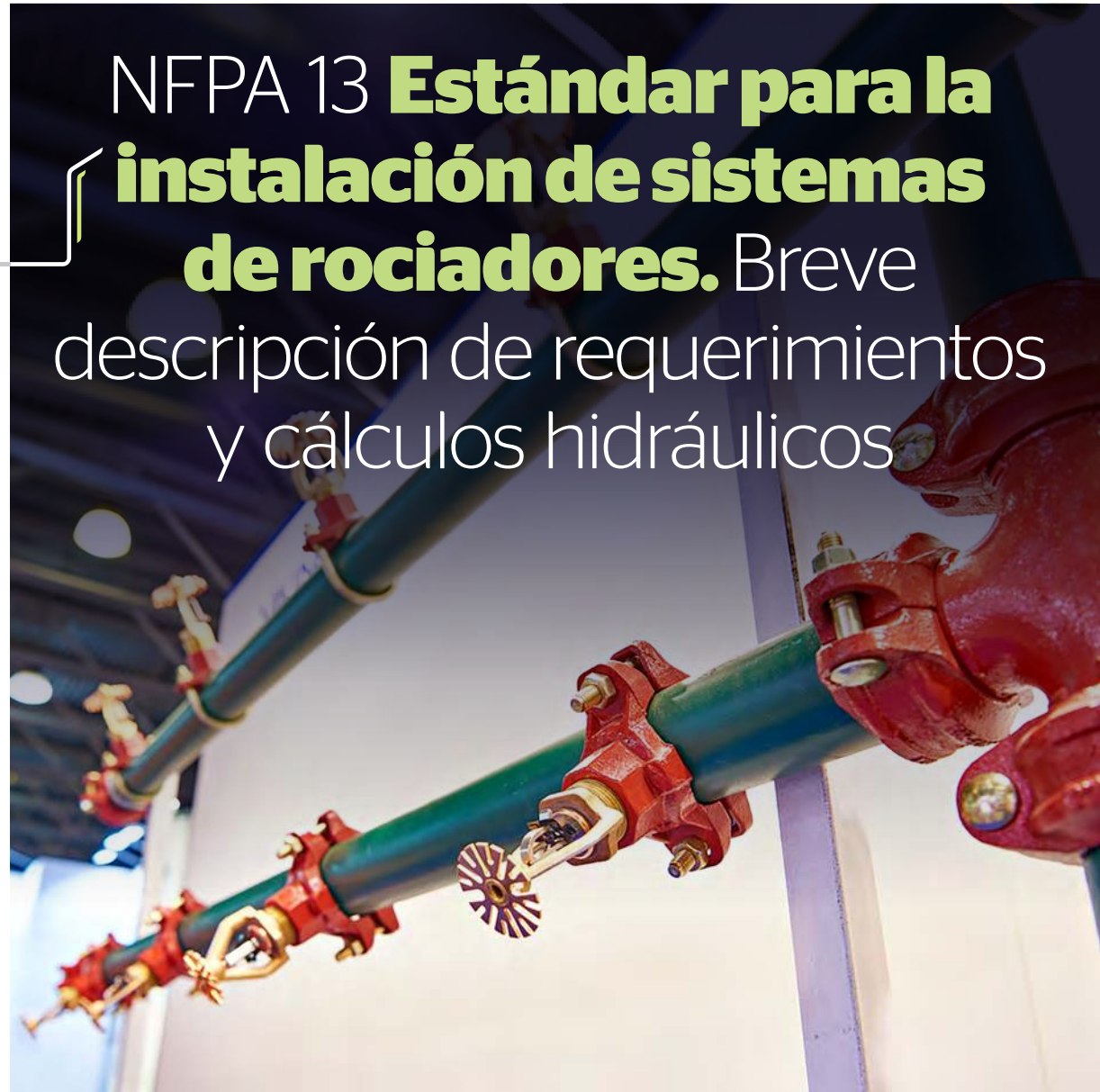


NFPA 13 **Estándar para la instalación de sistemas de rociadores.** Breve descripción de requerimientos y cálculos hidráulicos



Óscar Mauricio Barajas Pinzón
Ingeniero Mecánico

Magíster en Ingeniería en protección contra incendios / Magíster en Automatización Industrial / Especialista en Respuesta en Emergencias / Especialista certificado en protección contra incendios CFPS-NFPA / Profesional de la seguridad certificado CSP-BCSP / Auditor ISO 45001 / Ingeniero de Prevención de Pérdidas en Saudi Aramco



Uno de los sistemas de protección contra incendios más efectivos son los rociadores. Según un estudio de la National Fire Protection Association (NFPA) titulado 'U.S Experience with Sprinklers' (2017), el número de víctimas disminuye hasta en un 87 % en edificaciones e instalaciones que cuentan con sistemas de rociadores contra incendios. Así mismo, el porcentaje de bomberos y personal de primera respuesta que podría resultar herido o afectado durante un incendio disminuye

en un 67 % en instalaciones que implementan este tipo de dispositivos. [1]

El nivel de confiabilidad de estos sistemas es alto. Según el estudio, el sistema se activó en el 92 % de los casos en el que se requirió. [1]

Ahora bien, la norma NFPA 13 Estándar para la instalación de sistemas de rociadores, edición 2019, establece los requerimientos de diseño e instalación. Se trata del documento de referencia por excelencia en cuanto a rociadores, razón por la cual es recomendable consultar siempre la última edición disponible. Otros dos estándares muy importantes relacionados con el sistema de rociadores y que también vale la pena considerar son NFPA 16 Estándar para la instalación de sis-

temas de rociadores de agua-espuma y pulverización de agua-espuma y NFPA 25 Estándar para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendio a base de agua.

Con esta breve introducción, es preciso aclarar que el presente artículo no pretende abarcar todos los requerimientos de cálculos hidráulicos para sistemas de rociadores, pero sí enfatizar en las consideraciones y precauciones que debieran ser tenidas en cuenta cuando se realizan dichos cálculos con el propósito de evitar errores comunes.

Por lo tanto, aquellos lectores que quieran ahondar más en el detalle de cálculos hidráulicos podrían consultar los trabajos de Fleming, R. P. (2016). *Automatic sprinkler system calculations en SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*.

De momento se hará especial énfasis en aspectos que son cruciales para un efectivo cálculo y diseño de sistemas de rociadores:

- Disponibilidad de agua.
- Presión y gradiente hidráulico.
- Pérdidas de presión por fricción.
- Caudal.
- Teoría de onda elástica para explicar el fenómeno de golpe de ariete.

La ausencia de análisis en estos aspectos puede llevar a la implementación de sistemas que no cubran los riesgos reales, errores en su funcionamiento, bajos desempeños y fallas catastróficas [8]. Finalmente, se presentarán algunas consideraciones en mantenimiento y análisis de riesgo.

Referentes normativos que aplican

Tal y como se ha mencionado previamente, el documento de referencia por excelencia es la NFPA 13 Estándar para la instalación de sistemas de rociadores, edición 2019.

Otras organizaciones y referencias relacionadas con el tema de rociadores automáticos son:

- ASME: American Society of Mechanical Engineering.
- ASTM: American Society for Testing and Materials.
- FM: Factory Mutual.
- UL: Underwriters Laboratories.

Breve contexto histórico

Unos de los primeros sistemas de rociadores automáticos «*sprinklers*» fue diseñado por el arquitecto Benjamín Wyatt y se instaló en el Teatro Real de Drury Lane en Londres en 1812.

El primer rociador automático propiamente dicho fue inventado por Phillip Pratt hacia 1870. El sistema fue mejorado por Henry Parmalee en 1890.

Fue entonces que, para estandarizar la instalación de los sistemas contraincendios, en 1896 se publicó el primer estándar de instalación NFPA 13, originalmente denominado *Rules and Regulations of the National Board of Fire Underwriters for Sprinkler Equipments, Automatic and Open Systems*.

En 123 años el estándar se ha revisado y actualizado 62 veces, siendo uno de los documentos técnicos más examinados y estudiados en la historia de la seguridad y la protección contra incendios en el mundo. Actualmente el documento es avalado por cinco comités integrados por más de 200 especialistas del sector público, privado y educativo, así como por miembros de laboratorios, aseguradoras y usuarios.

Los comités técnicos son:

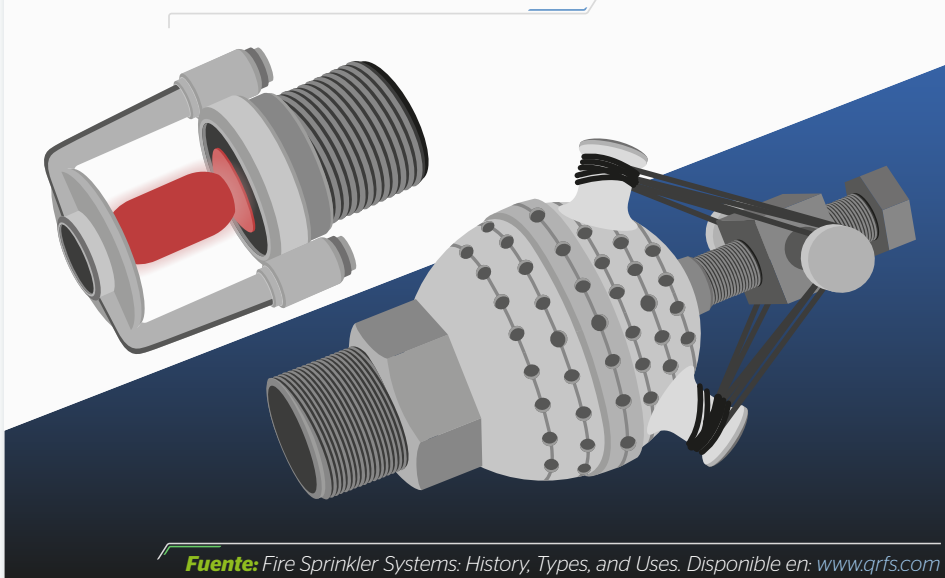
- Comité técnico de correlación.
- Comité técnico de soportes y aseguramiento de sistemas de protección contra incendio a base de agua.
- Comité técnico sobre tuberías de sistemas privados de suministro de agua.
- Comité técnico para el diseño de sistemas de descarga.
- Comité técnico para criterios de instalación de rociadores automáticos.

Partes de un rociador automático y tipos de rociadores

Un rociador es un dispositivo termosensible que está diseñado para reaccionar a temperaturas predeterminadas, descargando automáticamente cierta cantidad de agua que se distribuye sobre el área protegida para controlar o suprimir un incendio.

Así, el rociador es el elemento final del sistema dada su cercanía al fuego, humo y calor radiado por el incendio a controlar. Es el responsable de liberar agua en un patrón determinado para que la extinción sea efectiva.

Figura 1. Forma y estructura de los primeros rociadores contra incendios



Fuente: *Fire Sprinkler Systems: History, Types, and Uses*. Disponible en: www.qrfs.com

Los componentes más comunes del rociador son: deflector, armazón, elemento sensor, tapón, rosca y orificio. Tal y como se observa en la figura 2.

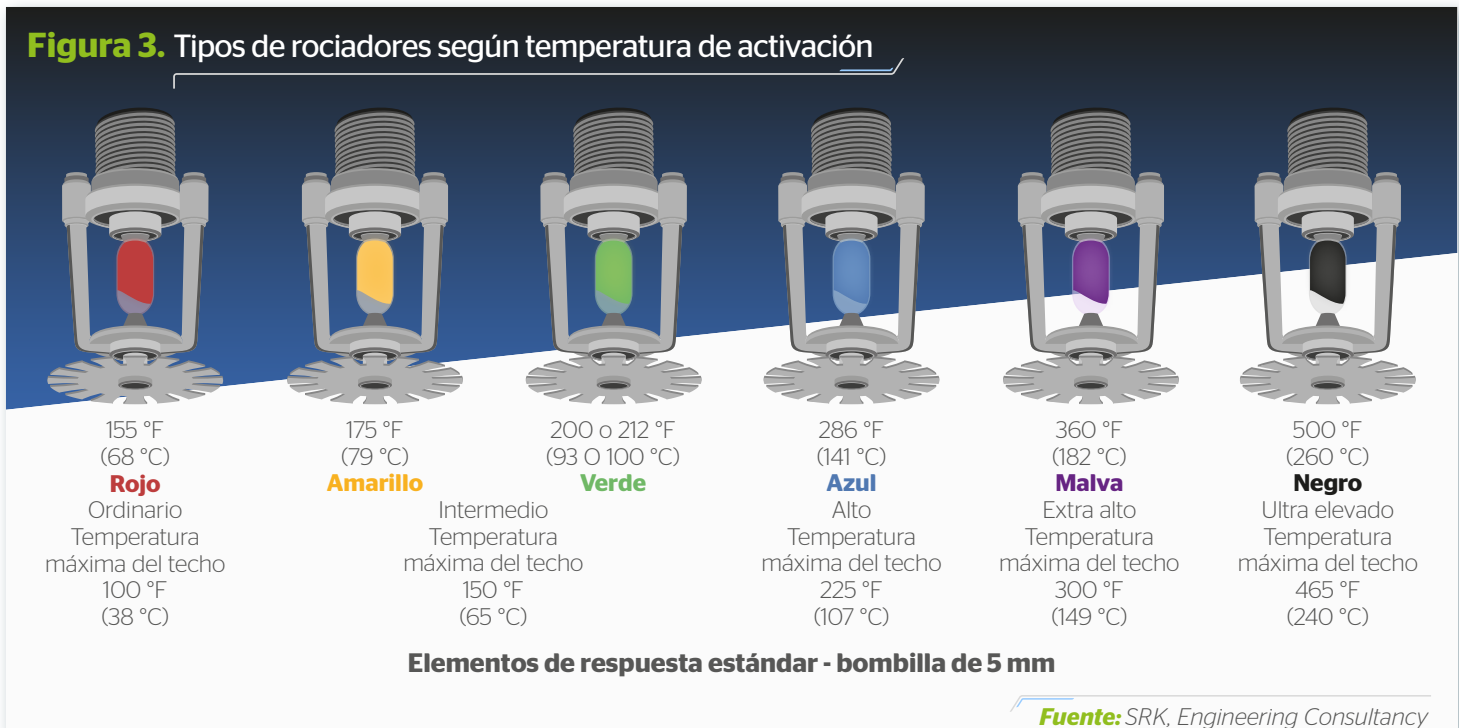
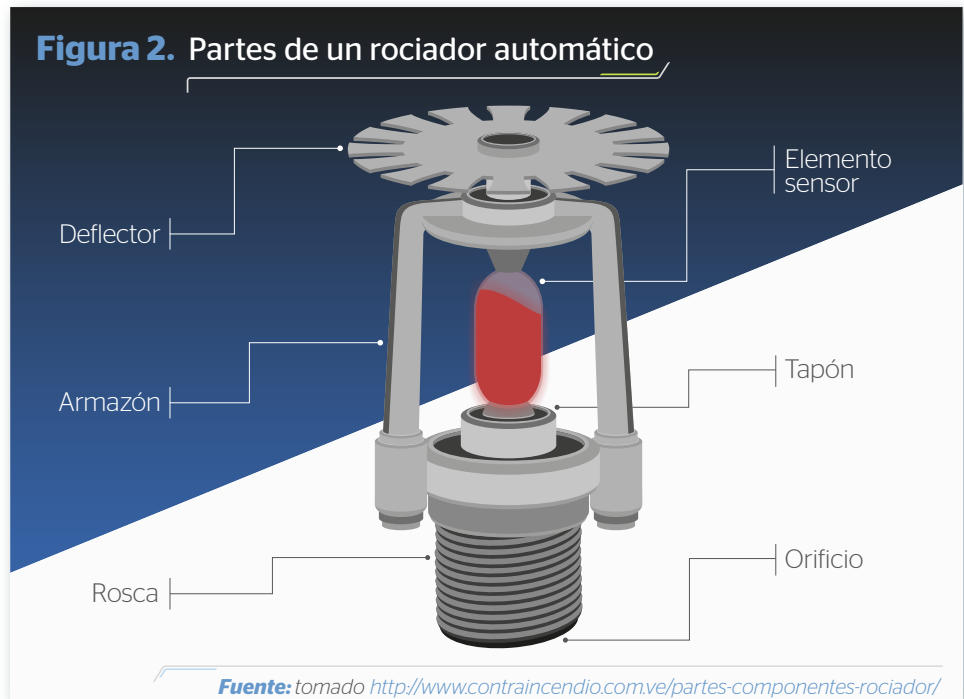
Así mismo, existen diferentes tipos de rociadores automáticos clasificados según su temperatura de activación o su forma (figura 3).

Consideraciones importantes para realizar cálculos hidráulicos de sistemas de rociadores

Conviene tener claros los siguientes conceptos técnicos:

Disponibilidad de agua

El capítulo cinco de la norma NFPA 13 está dedicado exclusivamente al tema de disponibilidad de agua.



El suministro de agua debe tener las siguientes características:

- Debe ser confiable.
- Debe ser de uso exclusivo del sistema de protección contra incendio.
- Debe estar permanentemente disponible para el sistema de protección contra incendio.

El diseño de sistemas de rociadores automáticos considera tres aproximaciones:

- Método de densidad por área.
- Método de diseño para recintos.
- Métodos de diseño para áreas especiales.

Para cumplir con el objetivo del

presente artículo, se ha seleccionado el método de densidad por área para explicar la filosofía de diseño.

La cantidad de agua requerida para un sistema de protección a partir de rociadores está en función del riesgo a proteger. El riesgo debe evaluarse con relación al tipo de ocupación en el área, la naturaleza

de los materiales presentes en dicho espacio y el tipo de actividades que se ejecutan allí.

Como muestra, a continuación se describen algunos ejemplos de ocupaciones y su respectiva clasificación de riesgos. Esta clasificación se utiliza como criterio para calcular el flujo de agua requerido para controlar el riesgo.

Ocupaciones de riesgo ligero

- Refugios para animales
- Recintos religiosos
- Clubes
- Instituciones de educación
- Hospitales y centros asistenciales
- Librerías y museos
- Áreas residenciales
- Comedores de restaurantes
- Teatros y auditorios
- Áticos

Ocupaciones de riesgo ordinario, grupo I

- Parquaderos de automóviles
- Pastelerías
- Fábricas de bebidas
- Plantas electrónicas
- Fábricas de vidrio
- Lavanderías
- Cuartos de máquinas

Ocupaciones de riesgo ordinario, grupo II

- Instalaciones de agricultura
- Molinos para cereales
- Destilerías
- Talleres para el trabajo de metales
- Molinos de papel y de pulpa
- Plantas procesadoras de papel
- Fábricas de textiles
- Fábricas de llantas
- Manufactureras de tabaco
- Procesamiento de maderas

Ocupaciones de riesgo extra, grupo I

- Hangares
- Áreas donde se utilizan fluidos hidráulicos combustibles
- Áreas de impresoras
- Áreas de producción de espumas de plástico

Ocupaciones de riesgo extra, grupo II

- Actividades en donde se usa asfalto.
- Procesos productivos que involucren líquidos inflamables
- Fabricación de plásticos
- Limpieza con solventes
- Procesos de pintado con aerosol.

Los potenciales flujos y áreas por proteger se presentan en la tabla 1 y en la figura 4.

Tabla 1. Flujos de agua según el tipo de riesgo y área a proteger

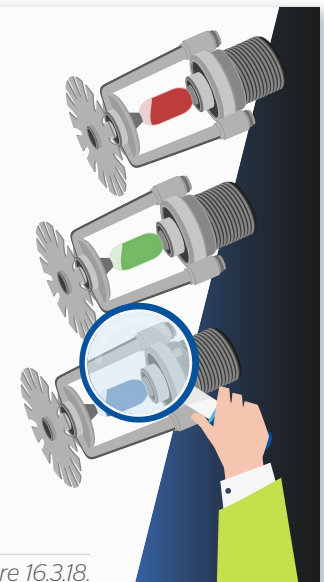
Riesgo	Flujos en gpm (galones por minuto)	Áreas en ft ² (pies cuadrados)
Riesgo ligero	0,07 a 0,01	1500 a 3000
Ordinario, grupo I	0,1 a 0,15	1500 a 4000
Ordinario, grupo II	0,15 a 0,2	1500 a 4000
Extra, grupo I	0,2 a 0,3	2500 a 5000
Extra, grupo II	0,3 a 0,4	2500 a 5000

Fuente: NFPA. Fire Protection Handbook. Edition 20. Section 16. Chapter 3. Automatic Sprinkler.

Figura 4. NFPA 13: curvas de densidad



Fuente: NFPA. Fire Protection Handbook. Edition 20. Section 16. Chapter 3. Automatic Sprinkler Systems. Figure 16.3.18.



Densidades de flujo en función del riesgo y el área a proteger

Tabla 2. Requerimientos de suministro de agua

Clasificación de ocupación	Mínima presión residual requerida (PSI)	Flujo de agua aceptable en la base del <i>raiser</i> en gpm (galones por minuto)	Duración en minutos
Ligero	15	500-750	30-60
Ordinario	20	850-1500	60-90

Fuente: NFPA. Fire Protection Handbook. Edition 20. Section 16. Chapter 3. Automatic Sprinkler Systems. Figure 16.311.

Presión

A manera de ejemplo, la figura 5 muestra que, a mayor flujo de demanda, menor presión disponible. En este caso particular se requieren 90

psi para sostener un flujo continuo de 450 gpm.

Tal como lo evidencia la figura 6, que muestra la curva de desempeño de la bomba contra incendios que va a suplir

agua al sistema de rociadores, al 100 % de flujo se debe tener el 100 % de presión en el punto nominal de operación.

Las pérdidas de presión resultantes del flujo de agua por la tubería se pueden estimar de varias formas. No obstante, NFPA 13 especifica concretamente el uso del método Hazen-Williams.

Este método se basa en el uso de la fórmula desarrollada por Hazen y Williams, la cual considera como variables de entrada el flujo (en gpm), el diámetro interno de la tubería (en pulgadas) y un factor denominado *C* asociado al material de esta [2], [11]:

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

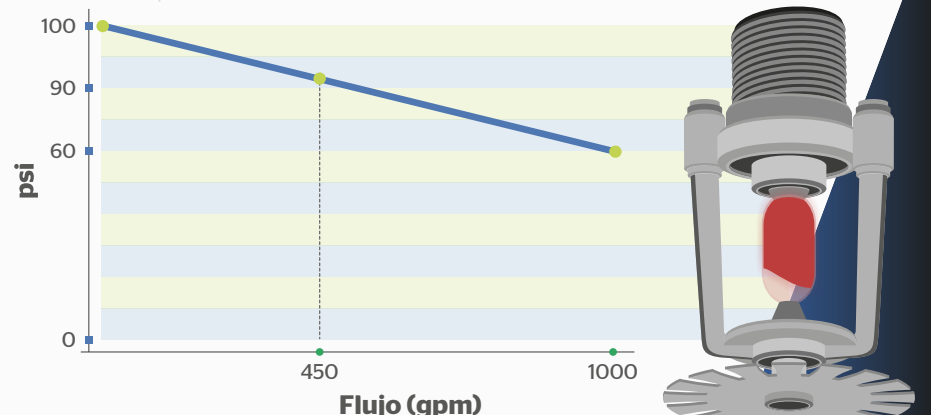
Donde:

- *p* es la pérdida de presión por pie de tubería.
- *Q* es el caudal en galones por minuto (gpm).
- *d* es el diámetro interno de la tubería en pulgadas.
- *C* es el coeficiente Hazen-Williams el cual se encuentra en función del material de la tubería.

La tabla 3 puede utilizarse como referencia.

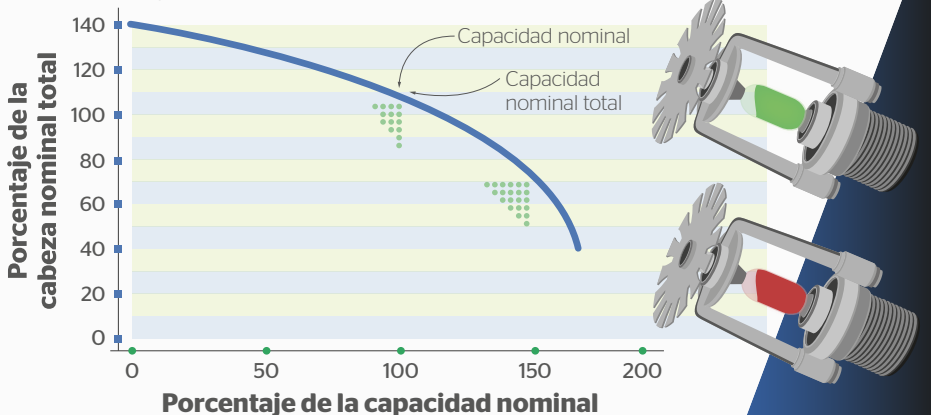
Ahora bien, la ecuación Hazen-Williams también puede utilizarse para calcular posibles pérdidas de presión por fricción en sistemas cerrados o "loops".

Figura 5. Presión disponible desde un suministro de 450 gpm



Fuente: Fleming, R. P. (2016). Automatic sprinkler system calculations. In SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 5th Edition. Springer, New York.

Figura 6. Curva de desempeño de bomba contra incendios



Fuente: Fleming, R. P. (2016). Automatic sprinkler system calculations. In SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 5th Edition. Springer, New York.

Tabla 3. Valores del coeficiente C para diferentes materiales de tubería

Valores C para tuberías	
Tipo de tubería	Factor C asignado
Sistemas de tubería de acero seca y de preacción	100
Tubería de acero - sistemas húmedos y de diluvio	120
Tubería de acero galvanizado - todos los sistemas	120
Fundición o hierro dúctil revestido de cemento	140
Tubo de cobre	150
Plástico (listado)	150

Fuente: NFPA. Fire Protection Handbook. Edition 20. Section 15. Chapter 3. Hydraulics for Fire Protection. Figure 15.36.

Caudal en el elemento final del sistema (el rociador)

Descargas de agua en función de la presión de flujo y el factor K del rociador [2], [3], [5]:

$$Q = 29.83 C_d d^2 P^{1/2}$$

$$Q = K \times P^{1/2}$$

Teoría de onda elástica para explicar el fenómeno del golpe de ariete

Un aspecto fundamental que se debe tener en cuenta a la hora de diseñar sistemas de rociadores automáticos y redes de protección contra incendios es el impacto de un potencial golpe de ariete¹. El cierre intempestivo de una válvula puede crear excesivas sobrepresiones aguas arriba, produciendo dicho fenómeno. La sobrepresión puede calcularse siguiendo los parámetros establecidos en la "teoría de onda elástica", la cual establece que el valor de sobrepresión está en función de la velocidad de la onda de presión, la velocidad del flujo de agua y la aceleración de la gravedad.

- El incremento en la presión es proporcional a la velocidad del fluido antes del cierre intempestivo del sistema y a la velocidad de la onda de presión.
- El incremento en la presión es independiente de la longitud y perfil de la tubería.
- La velocidad de la onda de presión es la misma que la velocidad del sonido en el agua.

Los conceptos básicos de la teoría de onda elástica son los siguientes:

La fórmula presentada a continuación establece el relacionamiento de estas variables para calcular la sobrepresión en el sistema [2], [3], [4], [7]:

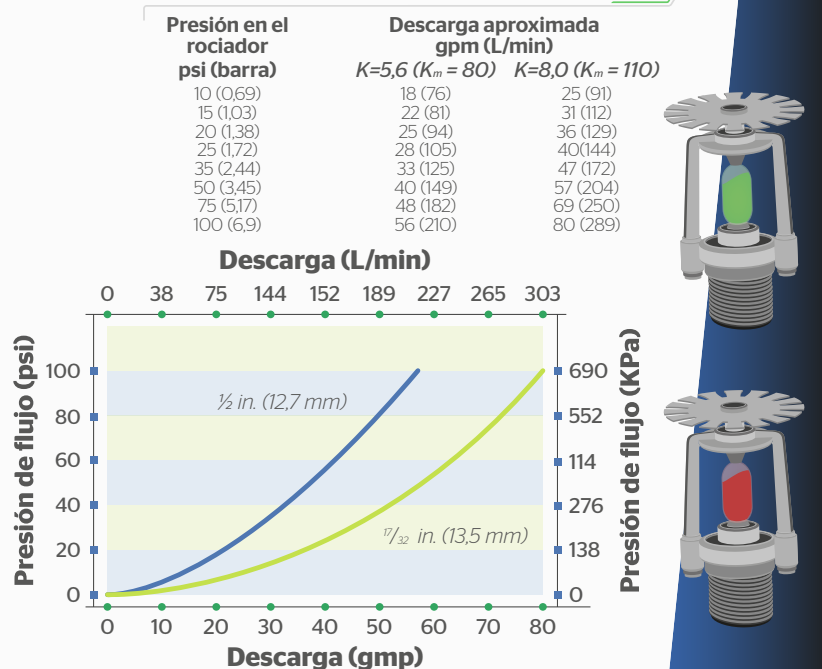
$$\Delta p = \frac{0.433av}{g}$$

Donde:

- **Delta P** es el incremento de presión por el golpe de ariete en PSI.
- **"a"** es la velocidad de la onda de presión.
- **"v"** es la velocidad del fluido antes del cierre intempestivo del sistema.
- **"g"** es la aceleración de gravedad en ft/sec².

El valor de la velocidad de la onda de presión "a" puede estimarse utilizando la siguiente gráfica. Dicha velocidad depende del diámetro de la tubería y del material con el que esta ha sido elaborada.

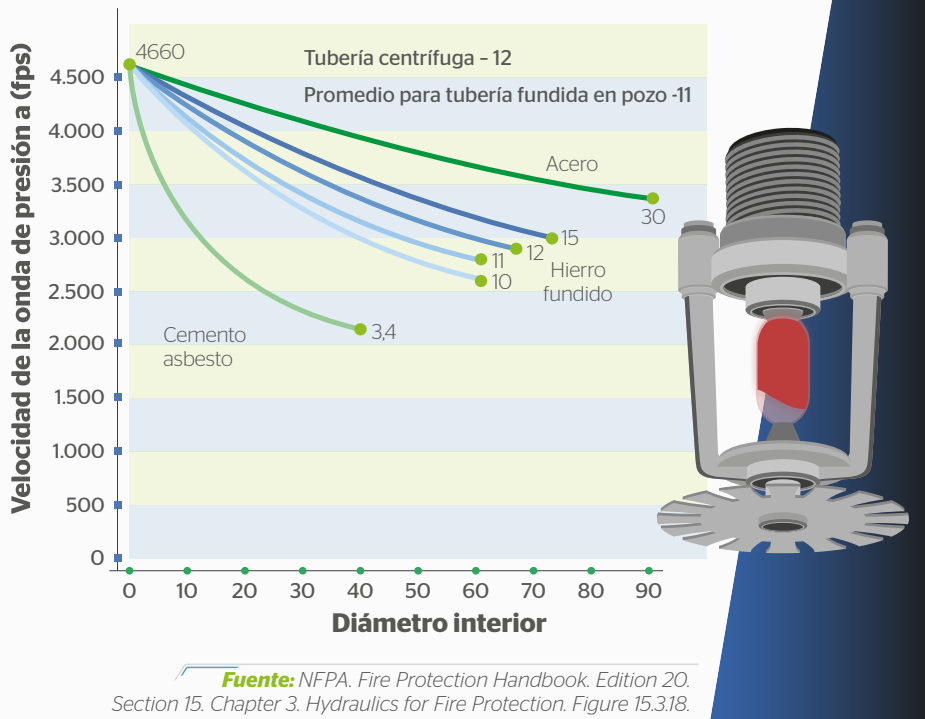
Figura 7. Flujos típicos de descarga de agua para rociadores factor K=5.6 y K=8.0



Fuente: NFPA. Fire Protection Handbook. Edition 20. Section 16. Chapter 2. Automatic Sprinklers. Figure 16.2.4

¹ El "golpe de ariete" es un fenómeno hidráulico que se manifiesta por un incremento súbito de presión al cerrarse intempestivamente la válvula de descarga. Esa presión puede ser tan grande que puede dañar permanente tubería y accesorios.

Figura 8. Velocidades de la onda de presión para diferentes materiales de tubería



- Los puntos de soporte deben tener la capacidad de resistir todo el sistema de rociadores.
- Los soportes deben estar fabricados con materiales ferrosos.

La estructura de la edificación en sí debe ser capaz de soportar el peso de la tubería con agua más 250 libras o 114 kg aplicado en el punto de soporte.

Las 250 libras o 114 kg representan la carga extra necesaria para sostener una persona relativamente pesada.

Precauciones y mantenimiento del sistema de rociadores automáticos

Se deben implementar las siguientes recomendaciones en el mantenimiento de los rociadores automáticos:

Inspección, prueba y mantenimiento en bombas contra incendio

Las actividades de inspección y prueba del sistema de bombas buscan identificar lo siguiente:

Curva de desempeño hidráulico de la bomba analizada. Esta curva gráficamente se representa en el plano cartesiano caudal vs. presión corregida. Se debe determinar qué tanta presión se pierde en el punto nominal de operación. Siguiendo los lineamientos de NFPA 25, edición 2011, estas pérdidas no pueden ser mayores al 5%. De lo contrario, demandará una intervención directa sobre el equipo para realizar correctivos, [6]:

Soportes de tubería

NFPA 13 ofrece una completa guía sobre soportes de tubería en términos de tamaño y espaciamiento en función del diámetro de esta. El estándar permite también una aproximación a este tema utilizando criterios de diseño basado en desempeño.

En términos generales, el sistema de soportes es aceptable si es diseñado y aprobado por un ingeniero certificado, cumpliendo con los siguientes requerimientos:

- Los soportes son capaces de cargar hasta cinco veces el peso de la tubería cargada con agua más 250 libras o 114 kg en cada punto.

Figura 9. Ejemplo de curvas de desempeño hidráulico en bombas de protección contra incendios

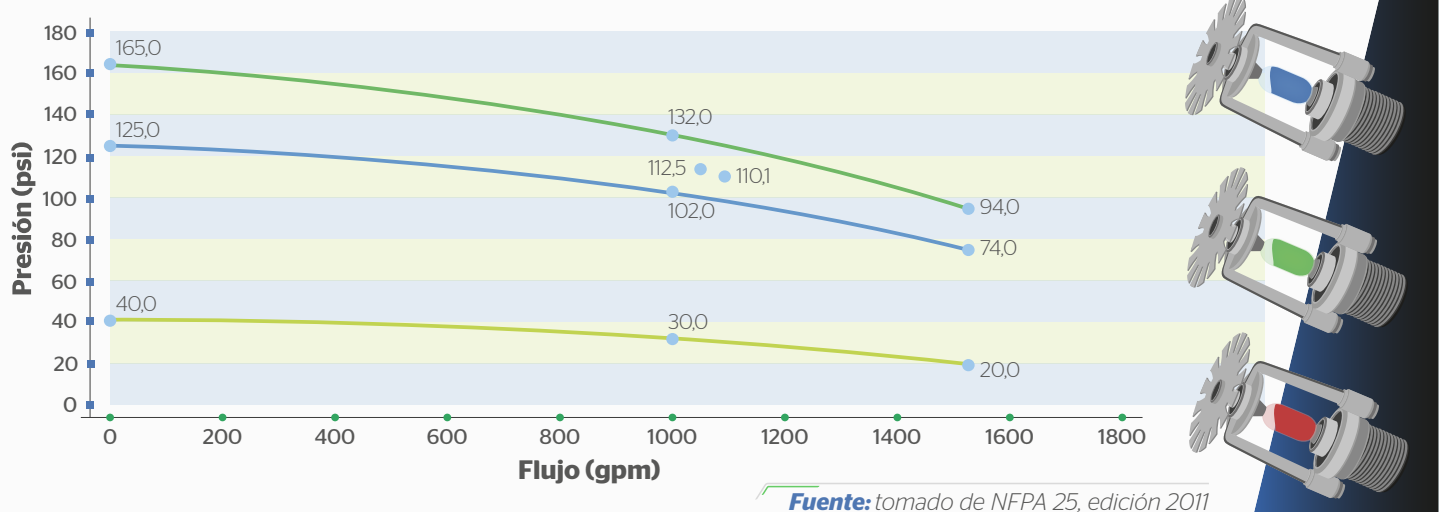




Foto: medición de caudal utilizando tubos pitot en cabezal de pruebas. **Fuente:** fotografía tomada por el autor. Ecopetrol, Terminal Coveñas. 2011.

Figura 10. Medición de presión de velocidad utilizando tubo pitot



Fuente: Fire Protection Handbook, Edition 20, Section 15, Chapter 3, Hydraulics for Fire Protection, Figure 15.3.9.

Determinación del gradiente hidráulico de la red de protección contra incendios

Busca determinar qué tanta presión se pierde en la red debido, principalmente, a la configuración de la misma, a las pérdidas por fricción y a los estados de integridad mecánica. En este sentido, el objetivo es verificar si en los puntos hidráulicamente más lejanos se tienen las siguientes presiones mínimas dependiendo del dispositivo presente:

- Hidrantes: 95 a 105 psi en la base.
- Rociadores: 5 a 175 psi.
- Sistemas generadores de espuma: 120 psi.

Disponibilidad de rociadores en stock

Se debe disponer de rociadores en stock para facilitar labores de mantenimiento y reemplazos. El número de rociadores a tener disponibles en reserva depende del tamaño del sistema:

Tamaño del sistema	Número de rociadores en reserva
Hasta 300 rociadores	6
De 300 a 1000 rociadores	12
Más de 1000 rociadores	24

Fuente: Fire Protection Handbook, Edition 20, Section 16, Chapter 2, Automatic Sprinklers.

Árbol de análisis de riesgos para decidir la instalación de rociadores automáticos en la industria oil & gas

El diagrama de decisión facilita el análisis de riesgos en un proceso productivo que maneja sustancias inflamables y combustibles en estado líquido (aplicable a tanques atmosféricos que almacenan hidrocarburos). Ver figura 11.

Entre los factores importantes en la evaluación del riesgo tolerable están la percepción y opiniones de los que pueden verse expuestos al escenario de peligro y, en cualquier caso, deberán tenerse en cuenta factores como:

- Directrices de las autoridades reguladoras pertinentes.
- Los debates y acuerdos con las distintas partes involucradas en la aplicación.
- Estándares de la industria y directrices.
- Experiencias en la industria, consejos de expertos y científicos.
- Requisitos legales y reglamentos.

Figura 11. Esquema para análisis de riesgos para determinar estrategias de protección contra incendios en la industria oil & gas



Consideraciones finales

Los equipos de protección contra incendios constituyen un activo fundamental de la empresa que, cada vez, es más considerado por las firmas aseguradoras. Así mismo, su presencia, buen estado y funcionalidad constituyen variables que influyen en las tarifas de las primas anuales de seguros.

Las empresas de clase mundial en todos los sectores industriales, especialmente en el sector petroquímico, son calificadas por su tendencia a la seguridad y grado de atención al cuidado y mantenimiento de barreras de protección como lo son los sistemas de protección contra incendios.

Cada vez que se realicen inspecciones y pruebas periódicas de los sistemas de protección contra incendios es importante que los hallazgos encontrados sean subsanados lo más rápido posible. Se sugiere hacer una matriz de categorización para determinar la criticidad y priorización para

intervenir los hallazgos, por ejemplo, 'correctivos' (de acción inmediata), 'preventivos' (acciones a corto plazo) y 'oportunidades de mejora' (acciones a un plazo mayor). De igual manera, es importante para las empresas considerar estos sistemas como activos críticos.

Antes de dimensionar un sistema de protección contra incendios basado en rociadores, el diseñador debe tener a disposición el análisis de riesgo del área a proteger y el análisis de capas de protección presentes, con el fin de evitar el desarrollo de costosos diseños sobredimensionados o, por el contrario, sistemas que no cubran los riesgos.

La adopción de un esquema de riesgo aceptado en planta para tomar la decisión de implementar sistemas de rociadores automáticos requiere, por parte de la empresa involucrada, un gran conocimiento del riesgo asociado con sus procesos productivos,

la correcta valoración de sus capas de protección, la adecuada cuantificación de potenciales pérdidas (aplicación de ingeniería de control de pérdidas) y madurez suficiente para implementar filosofías de seguridad de procesos.

Antes de implementar un sistema de protección contra incendios en un proceso productivo industrial que maneja sustancias inflamables y combustibles (mantenidos en estado líquido a presión atmosférica) hay que tener las siguientes consideraciones:

- Conocer las propiedades físicas y químicas de la sustancia involucrada.
- Conocer y entender las variables de proceso: presión, temperaturas, caudales y flujos.
- Conocer si el proceso es de producción, transporte o transformación de la materia.
- Analizar el riesgo en términos de probabilidades y consecuencias para determinar si este es tolerable o no.



1. Si es tolerable, adoptar esquemas de riesgo aceptado.
2. Si el riesgo no es aceptable, considerar la posibilidad de adoptar esquemas de diseño inherentemente seguro o adoptar esquemas clásicos de protección a base de agua, espuma, agentes limpios o polvo químico seco, entre otros.

Los sistemas de protección contra incendio a base de agua que se utilicen como estrategia de protección en instalaciones de almacenamiento y manejo de líquidos inflamables y combustibles se deben inspeccionar, probar y mantener de acuerdo con *NFPA 25 Norma para la inspección, prueba y mantenimiento para sistemas de protección contra incendio a base de agua*.

Referencias

NFPA National Fire Protection Association. "U.S. Experience with sprinklers" NFPA Research 2017.

Fleming, R. P. (2016). Automatic sprinkler system calculations. In *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (pp. 1423-1449). Springer, New York, NY.

Jeong, K., & Kim, W. K. (2013). A study on the problem of pressure and flow rate by prescriptive code-based design of fire sprinkler system. *Fire Science and Engineering*, 27(3), 14-19.

Lee, K. O., & Kang, J. H. (2007). An Improvement Study on National Fire Safety Code of Sprinkler System for Hydraulic Calculation Application. *Journal of the Korean Society of Safety*, 22(1), 7-12.

Tanner, G., & Knasiak, K. F. (2003, September). Spray characterization of typical fire suppression nozzles. In *Third International Water Mist Conference*, Madrid, Spain.

Utiskul, Y., & Wu, N. P. (2011). Residential Fire Sprinklers: Water Usage and Water Meter Performance Study. Exponent, Incorporated.

Zhu, X., Yuan, S., Jiang, J., Liu, J., & Liu, X. (2015). Comparison of fluidic and impact sprinklers based on hydraulic performance. *Irrigation science*, 33(5), 367-374.

MONCADA Pérez, Jaime. Principios del Fuego y la Ciencia del Fuego. Manual de Protección Contra Incendios. Quinta Edición en Español. NFPA 2009.

DRYSDALE D.D. Química y Física del Fuego. Manual de Protección Contra Incendios. Quinta Edición en Español. NFPA 2009.

FRIEDMAN Raymond. Teoría de la Extinción de Incendios. Principios básicos del fuego y la ciencia del fuego. Manual de Protección Contra Incendios. Quinta Edición en Español. NFPA 2009.

HUGHES W.F. BRIGHTON J.A. Fluid Dynamics. Third Edition. Schaum's outlines. 2006.

LEDESMA Martín Mora. ORTIZ Patricio Sepúlveda. Metodología de la Investigación. Limusa Nariega Editores, Conalep y SEP. México D.F. 2000.

SAMPIERI, Roberto Hernández. COLLADO, Carlos Fernández. LUCIO, Pilar Baptista. Metodología de la Investigación. Editorial Mc Graw Hill. México D.F. 2000.

IEEE, Publishing Services Department, "Preparation of Papers in a two column format for IEEE photo-off set publications", Instructivo para autores del IEEE. New York. 1983.

IEEE, Publishing Services Department, "Information for authors", Instructivo para autores del IEEE. New York. 1983.

BARAHONA, Metodología Científica. Bogotá. Ed. Ipler, 1981.