

**EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ EAAB-ESP**

**GERENCIA DE TECNOLOGÍA  
DIRECCIÓN DE INGENIERÍA ESPECIALIZADA**

**PROPUESTA AJUSTE NORMA DISEÑO DE ACUEDUCTO PARA LA  
EVALUACIÓN DE CAUDALES CONTRA INCENDIOS**

**Versión 0**

Elaboración – Revisión - Aprobación		
Dirección de Ingeniería Especializada		
Elaboró Néstor Vicencio Ortiz Salazar CTO No. 2-05-26200-0902-2022		
Elaboró Kevin David García Alvarado CTO No. 2-05-26200-0911-2022	Revisó Daniel Rodriguez Amaya Profesional Especializado	Aprobó Diego Gutiérrez Bohórquez Director Ingeniería Especializada

**Bogotá D.C.  
Septiembre de 2022**

## Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. OBJETIVO GENERAL .....	3
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. DEFINICIÓN.....	3
4. INFORMACIÓN BASE .....	3
4.1. NORMA EAAB .....	4
4.2. Resolución 0330 de 08 de junio de 2017. Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).....	4
4.3. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Título J. Requisitos de Protección Contra Incendios en Edificaciones. ....	4
5. Uso de software .....	5
5.1. Análisis hidráulico y matemático .....	6
6. Ajustes propuestos de la norma .....	7
7. ENTIDADES PROPUESTAS PARA LA DISCUSIÓN NORMA.....	10
8. REFERENCIAS.....	10
American Water Works Association. (2008). <i>Distribution System Requirements for Fire Protection</i> . AWWA.....	10

## 1. INTRODUCCIÓN

El caudal de incendio en una red de distribución es una parte del caudal total suministrado que está destinado únicamente a combatir incendios. En general, existe un elemento llamado *Hidrante*, que se encuentra conectado a la red de distribución que permite la conexión para los vehículos del servicio de extinción de incendio (cuerpo de bomberos). El caudal requerido para enfrentar un evento de incendio debe estar disponible simultáneamente con el consumo de la población en sus diferentes usos.

## 2. OBJETIVO GENERAL

Proponer criterios mínimos para la evaluación de los caudales requeridos de incendio para las redes de distribución de agua potable (nuevas y existentes).

### 2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los aportes necesarios para ser contemplados en los análisis contra incendio en las redes de distribución mediante la revisión de normas y literaturas externas.
- Describir los requisitos de caudales contra incendio en la normativa actual (NS-036 y Resolución 0330 de 08 de junio de 2017 y NSR-10).
- Revisar las capacidades de softwares de modelación hidráulica en el cumplimiento de la normatividad actual de caudales requeridos de incendio.
- Proponer nuevos lineamientos/requisitos mínimos de caudal requerido de incendio para que sean incluidos en la normatividad vigente (NS-036).

## 3. DEFINICIÓN

**Caudal Medio Diario:** el caudal medio diario, Qmd, corresponde al promedio de los consumos diarios de caudal.

**Caudal Máximo Diario:** el caudal máximo diario, QMD, corresponde al caudal medio del día de máximo consumo en el periodo de análisis. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario K1.

**Caudal Máximo Horario:** el caudal máximo horario, QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, K2.

**Factores de mayoración K1 y K2:** son coeficientes que dependen de las costumbres de los habitantes, los cuales se hacen más heterogéneos entre más grande sea la población.

**Caudal Requerido de Incendio:** es el caudal, a una presión y duración específica, que se considera necesario para controlar un evento de incendio importante, en una estructura particular.

## 4. INFORMACIÓN BASE

#### **4.1. NORMA EAAB**

En la NS-036 “Criterios para diseño de red de acueducto secundaria y menor de distribución” se establecen los parámetros, criterios y condiciones básicas que se deben tener en cuenta en la elaboración y presentación de diseños de redes secundarias y menores de distribución de sistemas de abastecimiento de agua.

En 4.2.7.3 Hidrantes se establece lo siguiente:

El diámetro mínimo para los hidrantes debe ser 75 mm (3 pulgadas).

##### **a) Capacidad de los hidrantes**

- Edificios multifamiliares-industriales y comerciales. La red hidráulica que abastece a los hidrantes debe permitir el funcionamiento simultáneo de dos hidrantes consecutivos durante dos horas, cada uno de ellos con una presión mínima de 10 m.c.a con un caudal de 15 l/s. Sin embargo, el funcionamiento de cada uno por separado o independiente debe cumplir con una presión mínima de 20 m.c.a.
- Se debe abastecer sin restricción el servicio de abastecimiento de agua.
- Edificios unifamiliares. En núcleos urbanos consolidados en los que no se pudiera garantizar el caudal de abastecimiento de agua, puede aceptarse que éste sea de 8 l/s, pero la presión se mantendrá en 10 m.c.a.

#### **4.2. Resolución 0330 de 08 de junio de 2017. Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)**

En el RAS en el artículo 70. Caudal de incendios, se establece la demanda mínima que debe estimarse teniendo en cuenta las siguientes especificaciones:

1. Para sistemas con poblaciones de diseño menores de 12.500 habitantes, los hidrantes deben instalarse en tuberías con capacidad de conducir al menos 5 L/s y deben descargar como mínimo un caudal de 5 L/s. Para poblaciones de diseño mayores, los hidrantes deben instalarse en tuberías con la capacidad de conducir al menos 10 L/s y deben descargar como mínimo un caudal de 10 L/s.
2. Para municipios con una población menor de 12.500 habitantes, cualquier incendio, independientemente del uso de la zona en que ocurra, debe ser atendido mínimo por un (1) hidrante.
3. Para municipios con poblaciones entre 12.500 y 60.000 habitantes, los incendios que ocurran en zonas residenciales densamente pobladas o zonas con edificios multifamiliares, comerciales e industriales deben ser servidos mínimo por tres (3) hidrantes bajo uso simultáneo. Los incendios en las zonas residenciales unifamiliares deben ser servidos mínimo por un solo hidrante.
4. Para municipios con poblaciones de más de 60.000 habitantes, los incendios que ocurran en zonas residenciales densamente pobladas o zonas con edificios multifamiliares, comerciales e industriales deben ser servidos mínimo por tres (3) hidrantes bajo uso simultáneo. Los incendios en las zonas residenciales unifamiliares deben ser servidos mínimo por dos (2) hidrantes en uso simultáneo.

#### **4.3. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Título J. Requisitos de Protección Contra Incendios en Edificaciones.**

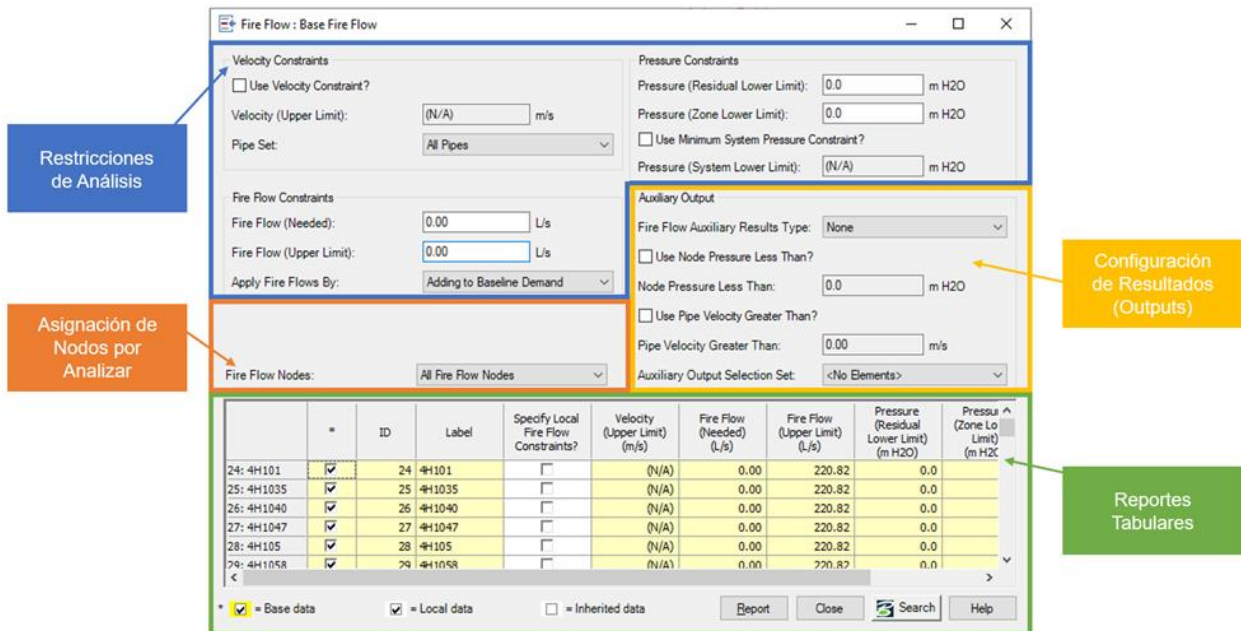
En J.2.4.4 Hidrantes, se establece lo siguiente: Debe instalarse, por lo menos, un hidrante para cada cantidad de área especificada en la Tabla J.2.4-1. Cada hidrante debe tener suministro permanente de agua y debe tener, por lo menos, el caudal especificado en la Tabla J.2.4-1. Para edificaciones no listadas en la tabla, debe proveerse con por lo menos un hidrante por cada 5 000 m<sup>2</sup> de área construida.

**Tabla J.2.4-1**  
**Área construida del nivel de acceso y caudal mínimo requerido por cada hidrante que debe instalarse**

Edificación	Área / hidrante, m <sup>2</sup>	Caudal / hidrante, L/s
Edificios cuya altura de evacuación descendente sea más de 28 metros o ascendente de más de 6 metros.	500	32
Cines, teatros, auditorios y discotecas.	500	63
Recintos deportivos.	500	63
Locales comerciales.	1 000	63
Estacionamientos.	1 000	63
Hospitales	500	63
Residencias	5 000	32
Atención al público	500	63
Educación	1 000	63
Almacenamiento	500	63

## 5. Uso de software

Uno de los objetivos de un sistema de distribución de agua es proporcionar una capacidad adecuada para hacer frente a los incendios. WaterGEMS CONNECT puede utilizarse para determinar si el sistema puede satisfacer las demandas de caudales de incendio manteniendo diversas restricciones hidráulicas de velocidad, caudal y presión. **La ventaja de utilizar un modelo matemático consiste en poder calcular los caudales de incendio para cada nodo, un grupo de nodos o todos los nodos del sistema.** Así, un análisis completo puede comprender cientos o miles de soluciones de caudal individuales, una para cada nodo seleccionado para el análisis del caudal de incendio. Dicho de otro modo, **el análisis de flujo de incendio en WaterGEMS es secuencial: se va asignando iterativamente en los nodos definidos por el usuario, el caudal de incendio requerido, el cual se adiciona a las demandas preexistentes.** Si se tienen  $n$  nodos de incendio, el software realizaría  $n$  simulaciones adicionales, y en cada una se agrega una demanda equivalente al caudal de incendio en los nodos seleccionados, verificando las restricciones hidráulicas del sistema (de caudal, presión y velocidad de flujo) determinadas en el módulo de alternativas de flujo de incendio (*Fire Flow*) y generando un reporte de las restricciones hidráulicas aprobadas o no, por cada simulación.



En EPANET, el análisis de caudales contra incendio se realiza mediante la adición de un tipo de demanda que contiene el patrón para el tiempo a analizar (por ejemplo, 2 horas). EPANET no tiene un módulo especializado para este tipo de análisis, por lo que se debe asignar de forma manual, nodo por nodo o automatizarlo con herramientas como el Toolkit de EPANET.

### 5.1. Análisis hidráulico y matemático

Como se dijo antes, la norma NS-036 exige verificar el “funcionamiento simultáneo de dos hidrantes consecutivos durante dos horas” mientras que la Resolución 0330 de 08 de junio de 2017 requiere “tres (3) hidrantes bajo uso simultáneo”, pero ninguno de los softwares revisados tiene la capacidad de analizar 2 o 3 hidrantes *a la vez de forma automática*, y se descarta el método manual ya que en redes extensas, existen muchos hidrantes y las parejas o ternas a probar (combinaciones de  $n$  elementos agrupados en  $k = 2$  ó  $3$ ), aunque finitas, haría que la validación fuese imposible de ejecutar de forma práctica.

Para ilustrar lo anterior, según el SIGUE, la red de acueducto cuenta con 9299 hidrantes. La Tabla 1 y Tabla 2 muestran las posibles combinaciones para dos y tres hidrantes por sector y distrito hidráulico. Se eligieron dos unidades hidráulicas para el análisis: zona y distrito hidráulico.

- El mayor número de combinaciones corresponde a Zona 3, para ambos casos (2 y 3 hidrantes combinados de un total de 2384), el menor corresponde a Zona 5 (para un total de 1358 hidrantes). No es práctico realizar más de 900 mil o más de 400 millones de pruebas, respectivamente.
- A nivel de distrito hidráulico, se eligió un distrito de cada zona, de forma azarosa. El distrito de Zona 5, para las combinaciones de 2 y 3 hidrantes, obtuvo más de 6 mil y 250 mil combinaciones posibles, mientras que el distrito de Zona 4, obtuvo más de mil y 20 mil combinaciones posibles, respectivamente.

POSIBLES COMBINACIONES			
Zona	Hidrantas	2 hidrantas	3 hidrantas
1	2114	2 265 256	1 606 066 504
2	1910	1 815 465	1 152 215 120
3	2384	2 831 010	2 244 047 260
4	1533	1 169 685	595 759 560
5	1358	915 981	412 802 104
<b>TOTAL</b>	<b>9299</b>		

Tabla 1. Posibles combinaciones de hidrantas por zona

POSIBLES COMBINACIONES			
Distrito	Hidrantas	2 hidrantas	3 hidrantas
<b>Z1-05-04-00-00000</b>	110	5 995	215 820
<b>Z2-16-01-00-00000</b>	87	3 741	105 995
<b>Z3-03-01-01-00001</b>	71	2 485	57 155
<b>Z4-13-01-03-00000</b>	51	1 275	20 825
<b>Z5-30-16-00-00000</b>	118	6 903	266 916

Tabla 2. Posibles combinaciones de hidrantas en algunos distritos hidráulicos

En conclusión, aun disminuyendo el área de estudio (que desde el punto de vista hidráulico es necesario por criterios de funcionamiento y de la red local) y al aplicar ambas normativas, las magnitudes de las posibles combinaciones de hidrantas, resulta poco eficiente y nada viable para ser ingresadas en un software de modelación hidráulica. Así también, el tiempo necesario para evaluar cada combinación y luego analizar cada resultado haría el proceso de validación inviable.

Normalmente, los estudios de capacidad de la red contra eventos de incendio se eligen 2 o 3 hidrantes/nodos más críticos de sistema, eligiendo estos de las siguientes formas (no exhaustivo):

- Análisis geométrico: se eligen aquellos hidrantas más alejados de la fuente de suministro del sistema.
- Análisis topológico: se eligen aquellos hidrantas que pudiendo estar o no, más alejados del sistema, se encuentran a una cota elevada (pudiendo ser mayor a la del punto de suministro).
- Análisis espacial: se eligen aquellos hidrantas que se ubican en los alrededores de zonas industriales, instituciones gubernamentales, hospitales y centros residenciales densamente poblados.
- Análisis hidráulico: se eligen aquellos hidrantas que, pudiendo pertenecer o no a algunas o varias de las categorías mencionadas anteriormente, se ubican en zonas de presión críticas del sistema.

Pese a lo anterior, el evento de incendio puede presentarse en cualquier otra ubicación del sistema. Así, es menos probable que el incendio se presente justo en la ubicación elegida y en los 2 o 3 hidrantas analizados de forma simultánea. Otro aspecto para tener en cuenta es que en general, las redes de los abastecimientos de agua potable están sectorizadas en unidades hidráulicas más pequeñas, y al elegir la totalidad del sistema (o cuando se elige a gran escala la sección de la red a analizar) sin tener en cuenta la sectorización, se corre el riesgo de elegir solo una de las posibles condiciones críticas que se puede presentar en la totalidad de las unidades hidráulicas que tiene la red de agua potable.

## 6. Ajustes propuestos de la norma



En la actualidad la normatividad de la EAAB establece que en las tuberías de distribución la presión dinámica mínima debe ser de 15 m.c.a, lo que estaría en contradicción de lo establecido en el numeral 4.2.7.3 de la capacidad de los hidrantes de la NS-036 que establece que la presión mínima debe ser de 20 m.c.a cuando opere un solo hidrante. Por lo que se propone eliminar este requisito de diseño.

La norma NS-036 no especifica el área de análisis en el que debería realizar el análisis de escenario contra incendio, por lo que se propone realizar el análisis hidráulico de capacidad de la red para enfrentar un evento de incendio al menor nivel de la unidad hidráulica del sistema con que opere el sistema, es decir a nivel de Distrito o Subdistrito Hidráulico. Así se garantiza que se evalúen todas las posibles condiciones críticas del sistema y no solo una de estas. Esto se vuelve más significativo en cuanto a que el análisis pueda centrarse en las unidades hidráulicas con las cuales operan realmente cada una de las zonas.

Se propone realizar el análisis hidráulico de capacidad de la red para enfrentar un evento de incendio para cada hidrante para el caudal total de combate contra incendio de 30 l/s, para garantizar que el sistema es capaz de entregar en cualquier punto donde se tenga un hidrante un caudal mínimo necesario de agua contra incendio. De acuerdo con lo anterior, el caudal requerido para un evento de incendio se mantiene en 30 l/s; solo cambia el requisito de exigirlo en un solo hidrante en lugar de 2 o 3 de forma simultánea. En la literatura y normas internacionales consultadas, este valor se establece en 500 gpm (31.55 l/s). Lo anterior por las razones que se explican a continuación:

- Es evidente que el análisis combinatorio de nodos (dependiendo de la normatividad vigente) es inmenso y no es, en lo absoluto, práctico ni eficiente.
- Los softwares analizados no tienen la capacidad para realizar el cálculo de todas las posibles combinaciones de 2 o 3 hidrantes que se exige en la normatividad vigente, requeriría un software más robusto y con mayor capacidad en el hardware en donde se realice las simulaciones simultáneas para cada combinatoria posible (miles de millones, dependiendo del área de servicio que se esté analizando).
- Los softwares hidráulicos si ofrecen la posibilidad de realizar el análisis por cada hidrante, dentro de la selección del área de estudio.
- La probabilidad de que se presente dos o tres eventos de incendio al mismo tiempo y que éstos sean atendidos por los mismos dos o tres hidrantes es muy baja. Al contrario, es más probable y real, que un evento de incendio sea atendido por un hidrante, por lo cual tiene más sentido, asegurar que un hidrante de la unidad mínima hidráulica tenga la capacidad de atenderlo.
- En el diseño de redes nuevas y análisis de las existentes, debe considerarse que los hidrantes sean del tipo correcto y que éstos se encuentren espaciados de forma adecuada para atender un posible evento de incendio.
- La Resolución 0330 de 08 de junio de 2017 establece el caudal mínimo de 10 l/s para tres hidrantes funcionando de forma simultánea, lo que daría un caudal total contra incendio de 30 l/s. La NS-036 establece, según el tipo de edificación, 15 u 8 l/s, siempre para dos hidrantes funcionando simultáneamente, lo que daría un caudal total contra incendio de 30 l/s y 16 l/s, respectivamente. Lo que se propone en la modificación de la norma es mantener el caudal de diseño (30 l/s), pero evaluarlo en su totalidad en cada hidrante, suponiendo que es poco probable que se presenten de forma simultánea más de un incendio en un sector específico de la ciudad, así se garantiza que, por cada hidrante, se tenga la capacidad del caudal total contra incendio para atender el evento en un sitio específico del sistema.

Al analizar la información disponible, se recomienda mantener la cantidad de horas durante las cuales el caudal de agua contra incendio debe estar disponible, esto es, 2 horas. En las normas internacionales consultadas, este tiempo varía entre 2 y 10 horas, pero las autoridades que se encargan del suministro de



agua establecen un límite superior de 2 a 4 horas para la duración del suministro de agua contra incendio por razones de economía.

La evaluación de la capacidad del sistema será el Caudal Máximo Horario para la condición de entrada en operación del sistema y para la condición proyectada, más el Caudal Requerido de Incendio, con lo cual podría realizarse la simulación hidráulica a través de un análisis estático, para cada uno de los escenarios de modelación hidráulica que se tenga disponible. Con esto se asegura la capacidad de suministrar el agua para los usos generales (doméstico, industrial, institucional, etc.) y el requerido por el cuerpo de bomberos en la condición más crítica, según el patrón de consumo de la unidad hidráulica analizada.

Marcación de los hidrantes: a pesar de las discrepancias normativas que existen en la actualidad, la marcación de los hidrantes a nivel general sigue los códigos de color que estable la “Práctica Recomendada para Pruebas de Flujo de Agua y Marcado de Hidrantes” (NFPA 291 ed. 2022) como se muestra a continuación:

Clasificación hidrante	Esquema de colores	Capacidad del hidrante (gpm)	Capacidad del hidrante (l/s)
AA	Azul Claro	> 1500	> 94.63
AA	Verde	1000 - 1499	63.08 - 94.56
B	Naranja	500 - 999	31.54 - 63.02
C	Rojo	< 500	< 31.54

A partir de esta información, es posible afirmar que la gran mayoría de los hidrantes instalados en ciudad son de clasificación C, es decir, con capacidades menores de 500 gpm (31.54 l/s), lo que estaría en concordancia con lo propuesto en este documento.

Al revisar la normatividad vigente se permite diseñar con una presión residual o mínima de hasta 10 m.c.a en condición de caudal máximo horario y caudal contra incendio de forma simultánea. Adicionalmente, al consultar la literatura y normas externas, se establece en 20 psi (14.08 m.c.a) la presión residual o mínima, evidenciando que la mayoría de los departamentos estatales de salud y demás abastecimientos de agua potable, prohíben la utilización de presiones residuales menores a 138 kPa (20 psi ó 14.08 m.c.a).

- Sin embargo, la información consultada establece que cuando los hidrantes están bien distribuidos y tienen el tamaño y tipo apropiados, de manera que en el hidrante y en la línea de succión no exista un exceso de pérdidas por fricción, se puede recomendar que la presión residual mínima sea de 7.04 m.c.a (69 kPa ó 10 psi).
- Por otro lado, la conexión de las bombas móviles contra incendio de los carros de bomberos tiene un sistema en el cual sus componentes hacen que estas estén capacitadas para succionar de acuerdo con las condiciones de donde se suministre el agua (hidrantes, o carro tanques). A partir de la bibliografía internacional el “Estándar para Vehículos Contra Incendios de la NFPA” (NFPA 1901 ed. 2016) establece que el equipo de bombeo con los que deben contar los vehículos deberá tener una capacidad nominal mínima de 250 gpm (15.77 l/s) a 150 psi (105.46 m.c.a). De acuerdo con la bibliografía, en Bogotá las capacidades de las bombas de los carros de bomberos rondan entre los 500 gpm (31.54 l/s) a 1250 gpm (78.86 l/s) de capacidad nominal.
- Por lo que se propone adoptar una presión residual o mínima de 8 m.c.a. a una tasa de 30 l/s en un único nodo (hidrante), demanda que estará disponible para el departamento de bomberos que responde para combatir incendios manualmente. Este criterio abarcaría un suministro de agua suficiente para que el cuerpo de bomberos se conecte y suministre la presión requerida para el combate de incendios en edificaciones. Estos parámetros abarcarían la disponibilidad que tendría el acueducto,

independiente de los requisitos normativos y de ley que deben implementar las edificaciones al interior de sus predios para el combate de extinción de incendios.

En último lugar, se propone establecer que la presión de diseño en las entregas de Red Matriz para diseñar la red de distribución debe corresponder a la presión mínima establecida en el Acuerdo Industrial. Donde la distribución del caudal máximo horario se debe diseñar con la presión disponible entre la mínima establecida en el Acuerdo Industrial y los 15 m.c.a. Así mismo, se debe evaluar el sistema para el caudal máximo horario y el caudal contra incendio para una presión mínima de 8 m.c.a para las condiciones actuales y proyectadas del sistema de acueducto. En el caso que la Red Matriz Acueducto entregue para distribución presiones superiores, estas se deben regular por medio de estaciones reguladoras de presión (ERP) para entregar la presión mínima establecida en el Acuerdo Industrial, esto permitirá contar con sistemas con la capacidad de conducir los caudales evaluados para las condiciones mínimas de servicio y minimizar las pérdidas por fugas al minimizar las presiones de operación del sistema.

## 7. ENTIDADES PROPUESTAS PARA LA DISCUSIÓN NORMA

- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP
- UAE Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá
- Asociación de Profesionales en Conducción de Fluidos
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
- Universidades

## 8. REFERENCIAS

American Water Works Association. (2008). *Distribution System Requirements for Fire Protection*. AWWA.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá: AIS.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2019). *NS-036 Criterios para Diseño de Red de Acueducto Secundaria y Menor de Distribución*. Bogotá: EAAB.

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 0330 de 2017*. Bogotá: MVCT.

National Fire Protection Association. (2016). *Estándar para Vehículos Contra Incendios*. Quincy, Massachusetts: NFPA.

National Fire Protection Association. (2021). *Práctica Recomendada para Pruebas de Flujo de Agua y Marcado de Hidrantes*. Quincy, Massachusetts: NFPA.

Pérez, J. M., & Moncada, J. A. (2009). *Manual de Protección Contra Incendios*. Quincy, Massachusetts: NFPA.