

DIFERENTES ALTERNATIVAS EN LA MODELACIÓN DE LOS HIDRANTES DE INCENDIO EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Vicente S. Fuertes Miquel¹; Gonzalo López Patiño¹;
P. Amparo López Jiménez¹; Pedro L. Iglesias Rey¹

Resumen – Una de las funciones de los sistemas de abastecimiento es proporcionar el agua necesaria para los hidrantes de incendio. Las especificaciones hidráulicas requeridas para la protección contra incendios varían mucho de unos países a otros. Las normativas u organismos competentes de cada país suelen fijar, entre otras cosas, el caudal mínimo y la presión mínima que debe satisfacer el hidrante. Una vez fijadas las necesidades para la protección contra incendios, se utiliza un modelo matemático de la red para simular si el abastecimiento es capaz de satisfacer dichas especificaciones. Generalmente, se procede fijando el caudal del hidrante como un consumo más del nudo correspondiente y se determina la presión existente en el nudo donde se encuentra el hidrante, verificando que es superior a la presión mínima necesaria. Sin embargo, el caudal descargado por el hidrante y la presión existente en la red no son independientes, ambos están relacionados entre sí. La modelación correcta consiste en introducir en el modelo la caracterización hidráulica del hidrante, es decir, la relación entre caudal y presión.

Abstract – To provide enough water to fire hydrants is one of the functions of water supply systems. The required hydraulic specifications for fire protection are very different for different countries. Norms and regulating authorities in each country usually stipulate, among other things, the minimum flowrate and pressure for the hydrant. Once the fire protection needs have been settled a mathematical model of the network is used to simulate the system and check if the specifications are satisfied. Generally, the hydrant flowrate is treated as a new consumption and then the pressure at the hydrant is calculated and made sure it satisfies its own minimum specification. Nevertheless, hydrant flowrate and pressure are not independent, but they are related within the network model. Thus, correct modeling should certainly consider this flowrate-pressure relationship.

Palabras clave: Lucha contra el fuego, hidrantes contra incendios, caudales para protección contra incendios, modelación de elementos, modelos hidráulicos, sistemas de abastecimiento de agua, modelación de sistemas de distribución.

Keywords: Fire fighting, fire hydrants, fire protection demands, elements modeling, hydraulic models, water supply systems, water distribution modeling.

¹ Universidad Politécnica de Valencia – Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente – Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos – Camino de Vera S/N – CP E46022 – Valencia (España) – Tel: (+34) 96 3879890 – Fax: (+34) 96 3877981 – E-mail: vfuentes@gmmf.upv.es ; glpatin@gmmf.upv.es ; palopez@gmmf.upv.es; piglesia@gmmf.upv.es

INTRODUCCIÓN

Generalmente, los sistemas de distribución de agua son utilizados también para proporcionar agua contra incendios. En muchas ocasiones, los caudales de incendio son muy superiores a los caudales normales consumidos por el sistema de abastecimiento. Cuando se produce un incendio, la cantidad de agua necesaria para la lucha contra el fuego es muy grande y, según sea el tamaño del abastecimiento, puede representar un elevado porcentaje del total de la demanda del sistema.

Así pues, es de gran importancia diseñar los sistemas de abastecimiento de agua de manera que cumplan las especificaciones necesarias para la protección contra incendios. La forma de proceder consiste, normalmente, en establecer primero las necesidades hidráulicas (básicamente, el caudal mínimo y la presión mínima) para la protección contra incendios y, posteriormente, usar un modelo de la red para simular si el sistema de abastecimiento es capaz de satisfacer dichas especificaciones. Si el sistema no es capaz de proporcionar los caudales necesarios y/o mantener las presiones mínimas requeridas, el modelo puede también utilizarse para el dimensionado de los diferentes elementos hidráulicos (tuberías, bombas, etc.) de forma que se corrijan los problemas detectados.

En los sistemas de distribución de agua, los elementos encargados de proporcionar los caudales necesarios en caso de incendio son los hidrantes contra incendios. Toda la red está llena de ellos y son estos hidrantes los que deberán proporcionar el agua necesaria a los servicios de extinción.

NECESIDADES HIDRÁULICAS CONTRA INCENDIOS EN DIFERENTES PAÍSES

Los requerimientos de agua contra incendios (caudal mínimo, presión mínima, número de hidrantes funcionando simultáneamente, reserva de agua, diámetro mínimo, etc.) varían mucho de unos países a otros. En muchos países existen normativas (aunque, normalmente, no son de obligado cumplimiento) u organismos (pueden ser tanto públicos como privados) que determinan las necesidades hidráulicas contra incendios que deben cubrir los sistemas de abastecimiento de agua.

Como ejemplo puede citarse el caso de Estados Unidos. En EE.UU. no existe normativa de obligado cumplimiento en lo que se refiere a las necesidades de los sistemas de abastecimiento para proporcionar el caudal de los hidrantes contra incendios. Son las autoridades locales las que determinan en cada caso las necesidades contra incendios. En muchos otros países la situación es muy similar.

En EE.UU. hay varios métodos utilizados habitualmente para calcular los caudales necesarios en los sistemas de distribución para la protección contra incendios. Uno de los más utilizados, pero no el único, es el método ISO. En este caso, la infraestructura necesaria para la protección contra incendios viene determinada por la *Insurance Services Office (ISO)* utilizando el “*Fire protection rating system*” (ISO, 1998). El método ISO se presenta resumido en el manual AWWA M-31 (1998).

En Europa no hay unos criterios generales que sean válidos para todos los países europeos. Así pues, cada país debe desarrollar o adoptar sus propios códigos de protección contra incendios.

En la tabla siguiente se presentan, y pueden compararse, algunas de las necesidades hidráulicas fijadas por diversos países para la protección contra incendios.

Tabla 1. Resumen con los requerimientos hidráulicos contra incendios en diversos países (AWWA Research Foundation, 2002).

PAÍS	Caudal mínimo		Presión mínima		Reserva de agua (horas)	Diámetro mínimo (mm)
	(gpm)	(lpm)	(psi)	(mca)		
Alemania (DVGW 1978)	200 – 850	760 – 3200	20	14	2	---
Canadá (NBC 1996)	500 – 12000	1900 – 45000	20	14	---	150
EE.UU. (método ISO, 1998)	500 – 3500	1900 – 13200	20	14	1 – 4	150
España (R.D. 1942/1993)	260	1000	14	10	2	---
Francia (Circulaires 1951, 1957 y 1967)	260	1000	---	---	2	---
Grecia (TCG 1996)	200 – 1900	760 – 7200	60	42	30 min.	---
Holanda (KIWA 1977)	400 – 1600	1500 – 6000	30	21	2 – 6	110
Holanda (KIWA 1999)	130 – 260	500 – 1000	---	---	2 – 6	63
Japón	250	950	40	28	40 min.	---
Reino Unido (LGA 1998)	120 – 1200	450 – 4500	---	---	---	---
Rusia (SNIP 1985)	160 – 550	600 – 2100	14	10	3	---
Sudáfrica (SABS 1972)	250 – 3200	950 – 12000	10 – 20	7 – 14	2 – 6	---
Suecia	160 – 600	600 – 2300	---	---	---	---

Como se observa en la tabla adjunta, la disparidad de valores entre unos países y otros es muy significativa, tanto en los caudales mínimos como en las presiones mínimas o en las horas durante las cuales se debe disponer de la reserva de agua necesaria.

NECESIDADES HIDRÁULICAS DE LOS HIDRANTES EN ESPAÑA

En España, al igual que sucede en EE.UU. y en otros países, no existe normativa de obligado cumplimiento a nivel nacional en lo que se refiere a las necesidades hidráulicas de los hidrantes de incendio.

La Norma Básica de la Edificación “NBE-CPI/96: Condiciones de protección contra incendios en los edificios” (Real Decreto 2177/1996, de 4 de octubre, publicado en el BOE del 29 de octubre de 1996), en la introducción de su apéndice 2 dice: “*Corresponde a las autoridades locales regular las condiciones que estimen precisas para cumplir lo anterior pero, en ausencia de dicha regulación, se pueden adoptar las recomendaciones que se indican en este apéndice.*”

Así pues, estrictamente hablando, lo indicado en dicho apéndice no es de obligado cumplimiento. Se trata simplemente de recomendaciones. En cualquier caso, muchos municipios, en sus Ordenanzas Municipales, hacen obligatorio lo que en la norma son recomendaciones.

Más concretamente, en el apartado 2.4 del apéndice 2 de la NBE-CPI/96 se indica:

“2.4. Redes de hidrantes exteriores.

*En el trazado de redes de abastecimiento de agua incluidas en actuaciones de planeamiento urbanístico, debe contemplarse una instalación de hidrantes la cual cumplirá las condiciones establecidas en el **Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios**.*

*Los hidrantes deben estar situados en lugares fácilmente accesibles, fuera del espacio destinado a circulación y estacionamiento de vehículos, debidamente señalizados conforme a la Norma UNE 23033 y distribuidos de tal manera que la **distancia entre ellos** medida por espacios públicos **no sea mayor que 200 m**.*

*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 un **caudal de 1000 l/min** y una **presión mínima de 10 mca**. En los núcleos urbanos consolidados en los que no se pudiera garantizar el caudal de abastecimiento de agua, puede aceptarse que éste sea de 500 l/min, pero la presión se mantendrá en 10 mca.”*

Así pues, puede decirse que las necesidades hidráulicas de los hidrantes contra incendios en España se resumen en lo siguiente: 2 hidrantes consecutivos funcionando simultáneamente durante 2 horas con un caudal mínimo de 1000 l/min para cada uno y una presión mínima de 10 mca.

Además, los hidrantes deberán cumplir las condiciones establecidas en el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios (Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, publicado en el BOE del 14 de diciembre de 1993). Dicho Reglamento, en el apartado 5 del apéndice 1 nos indica:

“5. Sistemas de hidrantes exteriores.

1. Los sistemas de hidrantes exteriores estarán compuestos por una fuente de abastecimiento de agua, una red de tuberías para agua de alimentación y los hidrantes exteriores necesarios.

Los hidrantes exteriores serán del tipo de columna hidrante al exterior (CHE) o hidrante en arqueta (boca hidrante).

*2. Las CHE se ajustarán a lo establecido en las **normas UNE 23405 y UNE 23406**. Cuando se prevean riesgos de heladas, las columnas de hidrantes serán del tipo de columna seca.*

Los racores y mangueras utilizados en las CHE necesitarán, antes de su fabricación o importación, ser aprobados de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 2 de este Reglamento, justificándose el cumplimiento de lo establecido en las normas UNE 23400 y UNE 23091.

*3. Los hidrantes de arqueta se ajustarán a lo establecido en la **norma UNE 23407**, salvo que existan especificaciones particulares de los servicios de extinción de incendios de los municipios en donde se instalen.”*

Realmente, lo único que dice el Reglamento es que los hidrantes de incendio se ajustarán a lo establecido en las normas UNE 23405, UNE 23406 y UNE 23407.

Dichas normas UNE, entre otras cosas, determinan la caracterización hidráulica de los hidrantes, esto es, la relación que debe existir entre el caudal descargado y la presión aguas arriba del hidrante. Concretamente, la norma UNE 23405:1990 (Hidrante de columna seca), en el apartado 9.1 nos indica:

“Se hallará el factor K de cada medida, mediante la fórmula siguiente:

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

donde Q es el caudal expresado en litros por minuto y P es la diferencia de presiones, descontando las pérdidas por altura de columna de agua, expresado en bar.

El factor K será superior en todas las medidas al indicado en la tabla 1:

Bocas de descarga	Factor K mínimo
1 boca de 45 mm	550
2 bocas de 45 mm	1100
1 boca de 70 mm	1300
2 bocas de 70 mm	2500
1 boca de 100 mm	3000

Por otro lado, la norma UNE 23406:1990 (Lucha contra incendios. Hidrante de columna húmeda) y la norma UNE 23407:1990 (Lucha contra incendios. Hidrante bajo nivel de tierra) son idénticas a la anterior en lo que se refiere a las pérdidas de carga en la columna y conexiones, es decir, la caracterización hidráulica de las bocas de descarga es la misma sea cual sea el tipo de hidrante.

MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LOS HIDRANTES DE INCENDIO

Supongamos que se está utilizando la boca de 100 mm de un hidrante mediante una manguera conectada entre la boca del hidrante y el camión de los servicios de extinción. En este caso, según las normas UNE correspondientes, el coeficiente K mínimo deberá ser 3000 (l/min)/bar^{1/2}. La caracterización hidráulica, es decir, la relación entre el caudal que sale por el hidrante y las pérdidas que éste genera, puede expresarse de la siguiente forma:

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

$$Q(\text{l/min}) = 3000 \cdot \sqrt{P(\text{bar})} \quad (2)$$

$$Q(\text{l/s}) = 15,66 \cdot \sqrt{\Delta h(\text{mca})} \quad (3)$$

$$\Delta h_{\text{hidrante } 100 \text{ mm}}(\text{mca}) = 0,00408 \cdot Q(\text{l/s})^2 \quad (4)$$

Pero ésta es la caracterización del hidrante cuando la boca de 100 mm está expulsando agua directamente a la atmósfera, sin tener en cuenta los diferentes elementos que se conectan en dicha boca. En realidad, en dicha boca se encuentra conectada la manguera de los equipos de extinción con el objeto de alimentar el camión de bomberos. Para simular con mayor exactitud lo que sucede en la realidad, habría que considerar también la caracterización de los elementos que se conectan a la boca del hidrante.

Para la caracterización hidráulica de las mangueras acudimos a las normas UNE correspondientes. Concretamente, se trata de la norma UNE 23091-2A:1996 (Mangueras de impulsión para la lucha contra incendios. Parte 2A: Manguera flexible plana para servicio ligero, de diámetros 45 mm y 70 mm) y la norma UNE 23091-2B:1981 (Mangueras de impulsión para la lucha contra incendios. Parte 2B: Manguera flexible plana para servicio duro, de diámetros 25, 45, 70 y 100 mm).

En dichas normas se presentan una serie de gráficas que proporcionan las pérdidas de carga máximas para las mangueras flexibles planas en función de su diámetro. Las pérdidas de carga en las mangueras pueden expresarse de la siguiente forma:

$$\frac{\Delta h}{L}(\text{mca/m}) = r \cdot Q(\text{l/s})^2 \quad (5)$$

A partir de las gráficas que proporcionan las normas UNE citadas, pueden obtenerse los valores máximos de la constante r admitidos por la normativa (ver Tabla 2).

Tabla 2. Coeficiente de pérdidas para las mangueras flexibles planas.

Manguera de 25 mm	$r = 0,289$
Manguera de 45 mm	$r = 0,01457$
Manguera de 70 mm	$r = 0,001194$
Manguera de 100 mm	$r = 0,000181$

Por ejemplo, las pérdidas en una manguera normalizada de 100 mm de diámetro y 20 m de longitud serán:

$$\Delta h_{\text{manguera}}(\text{mca}) = 20 \cdot 0,000181 \cdot Q(\text{l/s})^2 = 0,00362 \cdot Q(\text{l/s})^2 \quad (6)$$

Y, en consecuencia, las pérdidas en el hidrante y la manguera conjuntamente (ahora el hidrante no descarga directamente a la atmósfera) serán:

$$\Delta h_{\text{hidrante 100 mm + manguera}}(\text{mca}) = 0,0077 \cdot Q(\text{l/s})^2 \quad (7)$$

$$Q(\text{l/s}) = 11,40 \cdot \sqrt{\Delta h(\text{mca})} \quad (8)$$

$$Q(\text{l/min}) = 2184 \cdot \sqrt{P(\text{bar})} \quad (9)$$

$$K = 2184 \frac{\text{l/min}}{(\text{bar})^{1/2}} \quad (10)$$

Así pues, el coeficiente K del hidrante se ha reducido de 3000 (el hidrante aislado sin ningún elemento más) a 2184 (el hidrante junto con una manguera de 20 m). Si, además de las pérdidas en la manguera, añadimos las pérdidas en la boquilla de salida, el término cinético a la salida ($v^2/2g$), etc., el valor de K se reduce todavía más ($K < 2184$).

Además, es recomendable incorporar en el modelo las pérdidas existentes en el tramo de conexión entre la tubería de distribución y el hidrante. En este tramo, cuando el hidrante está en funcionamiento, las velocidades de circulación son importantes y, en consecuencia, las

pérdidas generadas pueden ser significativas a pesar de tratarse de un tramo de muy corta longitud. Es por ello que, para aproximarse todo lo posible a la realidad, no debería ignorarse dicho tramo en el modelo.

También es importante resaltar que la cota del nudo que simula el hidrante debe ser la cota de la boca de salida del hidrante y no la cota de la tubería a la cual está conectado.

ANÁLISIS DE UN ABASTECIMIENTO CON HIDRANTES EN FUNCIONAMIENTO

Una vez fijadas las necesidades hidráulicas del abastecimiento para la protección contra incendios, es necesario utilizar un modelo matemático del sistema para simular si es capaz de satisfacer dichas especificaciones. Habitualmente, lo que se suele hacer es fijar el caudal mínimo descargado por el hidrante y calcular con el modelo la presión existente en el nudo donde se encuentra conectado el hidrante, comprobando que es superior a la presión mínima necesaria. Otra posibilidad consiste en fijar en el nudo correspondiente la presión mínima requerida y calcular con el modelo el caudal descargado, verificando que está por encima del caudal mínimo.

Es decir, se dispone de diversas alternativas a la hora de modelar el funcionamiento del hidrante. Las opciones posibles son:

1.- Fijar el caudal mínimo ($Q = 1000$ l/min) en cada uno de los dos hidrantes consecutivos y calcular con el modelo las presiones en los nudos donde se encuentran conectados los dos hidrantes (ésta es una forma muy habitual de simular el comportamiento de los hidrantes de incendio en los sistemas de abastecimiento de agua).

2.- Fijar la presión mínima ($P = 10$ mca) en cada uno de los dos hidrantes y calcular con el modelo los caudales descargados por cada hidrante. En este caso, el caudal será diferente para cada uno de los dos hidrantes.

3.- Si se desea que los caudales descargados por ambos hidrantes sean idénticos, puede utilizarse el modelo hidráulico de la red para ir aumentando el caudal de los dos hidrantes por igual hasta un valor máximo de forma que la presión en los nudos correspondientes sea superior a 10 mca.

En cualquier caso, ninguna de estas tres alternativas es físicamente correcta. Ninguna de ellas simula lo que sucede en la realidad. Ninguna de las tres opciones tiene en cuenta las características hidráulicas del hidrante y de los diferentes elementos que se conectan a él. Realmente, la presión en la tubería de conexión determina el caudal descargado por el hidrante y el caudal determina la presión existente en la tubería. Así pues, el caudal descargado por el hidrante y la presión existente en la red están relacionados ($Q = K \cdot \sqrt{P}$). No son dos valores independientes que puedan calcularse por separado. La modelación correcta consiste en introducir en el modelo la caracterización hidráulica (relación entre caudal y presión) del hidrante junto con los elementos conectados a él.

4.- La alternativa más realista consiste en modelar el comportamiento del hidrante teniendo en cuenta la relación existente entre el caudal y la presión.

$$K = \frac{Q}{\sqrt{P}} \quad (11)$$

Muchos programas informáticos de cálculo (por ejemplo, EPANET) permiten la simulación del hidrante mediante la introducción directa del coeficiente K . En este caso, lo único que hay que hacer es introducir el coeficiente K del hidrante en el nudo correspondiente y el programa calculará el caudal descargado en función de la presión existente en el nudo. Recordemos que, para que la simulación sea correcta, el nudo debe estar situado a la cota de la boca de descarga y no a la cota de la tubería donde está conectado el hidrante.

Sin embargo, algunos programas de cálculo no permiten introducir el coeficiente K directamente. En este caso, es posible simular el hidrante con una tubería equivalente (que produzca las mismas pérdidas) y un depósito a presión atmosférica ($P = 0$) situado a la misma cota que se encuentra la boca de salida del hidrante (ver Figura 1). Cuando se procede de esta manera, se debe asignar una longitud, diámetro y rugosidad a la tubería equivalente de forma que las pérdidas generadas por la tubería coincidan con las del hidrante. Realmente, existen infinitas combinaciones de L , D y f que proporcionan las mismas pérdidas que el hidrante.

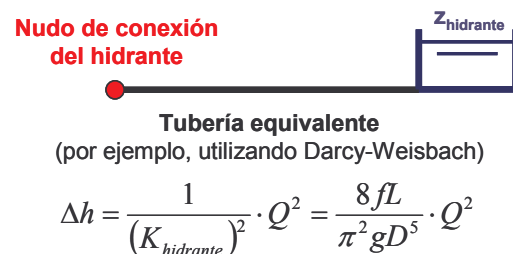


Figura 1. Posible simulación de un hidrante contra incendios.

EJEMPLO DE APLICACIÓN

Se pretende analizar el sistema mostrado en la figura. Se trata de una red formada por 13 nudos (2 depósitos y 11 nudos de consumo) y 18 tuberías.

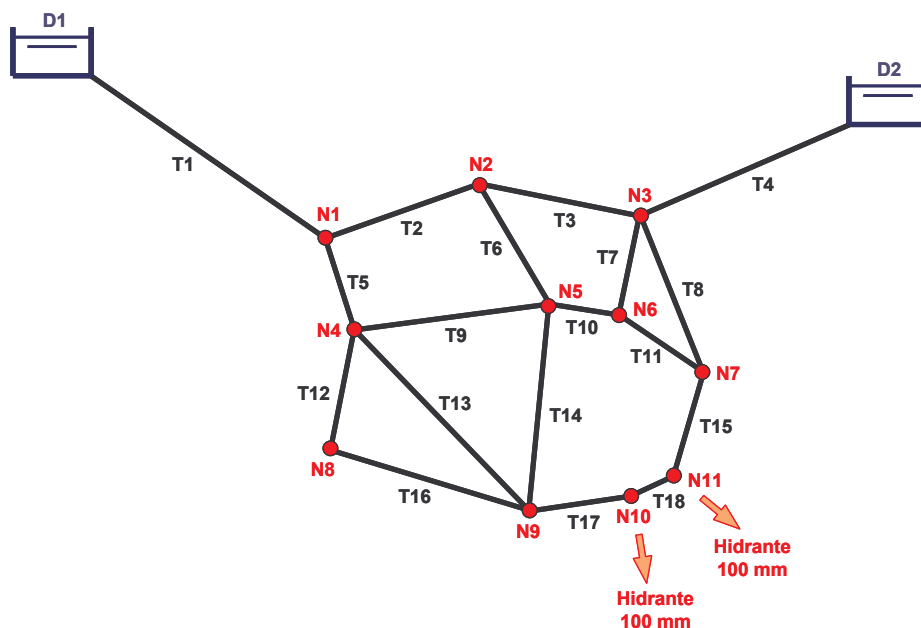


Figura 2. Esquema de la red del ejemplo.

Las características principales de los diferentes nudos (cota y consumo) y líneas (longitud, diámetro y rugosidad) que conforman la red del ejemplo se muestran en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Datos de la red del ejemplo.

NUDOS			LÍNEAS			
Nudo	Cota (m)	Consumo (l/s)	Línea	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad (mm)
D1	85	---	T1	1320	300	0,1
D2	82	---	T2	740	250	0,1
N1	49	8	T3	740	250	0,1
N2	47	6	T4	1040	200	0,1
N3	46	11	T5	440	200	0,1
N4	44	5	T6	640	150	0,1
N5	45	14	T7	460	150	0,1
N6	43	7	T8	780	200	0,1
N7	41	9	T9	900	150	0,1
N8	42	9	T10	320	200	0,1
N9	43	12	T11	460	150	0,1
N10	44	13	T12	560	150	0,1
N11	45	10	T13	1160	200	0,1
			T14	960	150	0,1
			T15	500	150	0,1
			T16	960	150	0,1
			T17	460	150	0,1
			T18	200	150	0,1

Durante el funcionamiento normal del sistema (cuando no hay ningún incendio) las presiones en los nudos N10 y N11 son, respectivamente, 30,04 mca y 30,08 mca.

Se pretende simular un incendio en el entorno de la tubería T18 para verificar si el sistema es capaz de satisfacer las especificaciones en caso de incendio (según la NBE-CPI/96, en cada uno de los dos hidrantes se precisa un caudal mínimo de 1000 l/min y una presión mínima de 10 mca). Para ello, se supone que los servicios de extinción requieren la utilización de dos bocas de 100 mm en dos hidrantes consecutivos situados en los nudos N10 y N11.

Analicemos las diferentes alternativas, comentadas anteriormente, a la hora de modelar el funcionamiento de los hidrantes:

Opción 1.- En cada uno de los nudos N10 y N11 se añade un caudal de 1000 l/min y se calcula con el programa EPANET la presión existente en dichos nudos (17,15 mca para el nudo N10 y 17,19 mca para el nudo N11).

Opción 2.- En los nudos N10 y N11 se fija una presión de 10 mca y se calcula con el programa EPANET el caudal descargado por cada hidrante (1256 l/min para el hidrante situado en el nudo N10 y 1542 l/min para el que está situado en el nudo N11).

Opción 3.- Si queremos que los caudales descargados por ambos hidrantes sean idénticos, podemos ir aumentando el caudal de los dos hidrantes por igual hasta un valor máximo (en este caso, 1399 l/min) de forma que la presión en los nudos N10 y N11 sea superior a 10 mca.

Pero, tal y como ya se ha comentado, ninguna de estas opciones es correcta. La modelación que más se aproxima a la realidad consiste en simular el comportamiento del

hidrante y demás elementos mediante su caracterización hidráulica, es decir, la relación existente entre el caudal descargado y la presión en el nudo de conexión.

Para ello, vamos a utilizar el coeficiente emisor del programa EPANET, esto es:

$$Q(l/s) = K \cdot \sqrt{P(mca)} \quad (12)$$

En función de si se considera únicamente el hidrante o se consideran también los elementos conectados a él (por ejemplo, la manguera), el coeficiente emisor que caracteriza el hidrante tendrá un valor u otro:

- Hidrante de 100 mm $\rightarrow K_{EPANET} = 15,66$
- Hidrante + manguera de 20 m $\rightarrow K_{EPANET} = 11,40$
- Hidrante + manguera de 20 m + otros elementos $\rightarrow K_{EPANET} < 11,40$

En la Tabla 4 se presentan los resultados que proporciona el modelo EPANET para las diferentes alternativas posibles en lo que se refiere a la modelación del hidrante.

Tabla 4. Presión y caudal en los nudos N10 y N11 de la red del ejemplo.

	Hidrante N10		Hidrante N11	
	Caudal (l/min)	Presión (mca)	Caudal (l/min)	Presión (mca)
No hay incendio	0	30,04	0	30,08
Opción 1 ($Q = 1000$ l/min)	1000	17,15	1000	17,19
Opción 2 ($P = 10$ mca)	1256	10,00	1542	10,00
Opción 3 (Q_{max} con $P > 10$ mca)	1399	10,00	1399	10,03
Opción 4a ($Q = K \cdot \sqrt{P}$ con $K = 15,66$)	1718	3,34	1726	3,38
Opción 4b ($Q = K \cdot \sqrt{P}$ con $K = 11,40$)	1615	5,58	1620	5,61
Opción 4c ($Q = K \cdot \sqrt{P}$ con $K = 9,50$)	1535	7,25	1538	7,28

Tal y como se aprecia en la tabla resumen de resultados, existen importantes diferencias según sea la opción elegida a la hora de modelar el comportamiento del hidrante.

CONCLUSIONES

Los sistemas de distribución deben estar preparados para suministrar el agua necesaria en caso de incendio. Los requerimientos hidráulicos son determinados por los organismos competentes de cada país. En España, la Norma Básica de la Edificación NBE-CPI/96 “recomienda” un caudal mínimo de 1000 l/min y una presión mínima de 10 mca. Realmente, se trata únicamente de una recomendación pero, en la práctica, muchos Ayuntamientos hacen obligatorias estas recomendaciones.

Una vez fijadas las necesidades para la protección contra incendios, debe verificarse que el sistema de abastecimiento es capaz de satisfacer el caudal y la presión requeridos. Para ello, se precisa la utilización de un modelo hidráulico de la red de distribución.

Para analizar el comportamiento del sistema cuando se produce un incendio es muy importante cómo se realiza la modelación del hidrante. Habitualmente, se suele cargar el

caudal mínimo que requiere el hidrante en el nudo donde se encuentra éste y se calcula con el modelo la presión existente en dicho nudo para comprobar si supera el valor mínimo.

Sin embargo, el caudal descargado por el hidrante y la presión aguas arriba del hidrante están relacionados entre sí y no pueden calcularse de forma independiente. La modelación más correcta consiste en introducir en el modelo la caracterización hidráulica del hidrante junto con los elementos que se conectan a él. Tal y como se ha descrito en el presente trabajo, los resultados obtenidos varían mucho en función de la alternativa seleccionada.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo ha sido posible gracias al Ministerio de Ciencia y Tecnología de España, el cual ha financiado el proyecto de investigación nº DPI2003-02676, titulado “*MAGIAS: Desarrollo de una herramienta para modelación de sistemas de abastecimiento de agua utilizando sistemas de información geográfica y algoritmos genéticos*”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR (1981), Norma UNE 23091-2B:1981 – Mangueras de impulsión para la lucha contra incendios. Parte 2B: Manguera flexible plana para servicio duro, de diámetros 25, 45, 70 y 100 mm, publicada por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), España.
- AENOR (1990), Norma UNE 23405:1990 – Hidrante de columna seca, publicada por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), España.
- AENOR (1990), Norma UNE 23406:1990 – Lucha contra incendios. Hidrante de columna húmeda, publicada por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), España.
- AENOR (1990), Norma UNE 23407:1990 – Lucha contra incendios. Hidrante bajo nivel de tierra, publicada por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), España.
- AENOR (1996), Norma UNE 23091-2A:1996 – Mangueras de impulsión para la lucha contra incendios. Parte 2A: Manguera flexible plana para servicio ligero, de diámetro 45 mm y 70 mm, publicada por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), España.
- AWWA American Water Works Association (1998), Distribution system requirements for fire protection, AWWA Manual M-31, Denver, USA.
- AWWA Research Foundation (2002), Impacts of fire flow on distribution system water quality, design, and operation, publicado por AWWA Research Foundation, Denver, USA.
- Insurance Services Office, ISO (1998), Fire suppression rating schedule, publicado por la Insurance Services Office, New York, USA.
- Ministerio de Fomento (1996), Norma Básica de la Edificación “NBE-CPI/96: Condiciones de protección contra incendios en los edificios”, Real Decreto 2177/1996 de 4 de octubre (publicado en el B.O.E. del 29 de octubre de 1996).

Ministerio de Industria y Energía (1993), Reglamento de instalaciones de protección contra incendios, Real Decreto 1942/1993 de 5 de noviembre (publicado en el B.O.E. del 14 de diciembre de 1993) y Orden de 16 de abril de 1998 sobre normas de procedimiento y desarrollo del Real Decreto 1942/1993 (publicada en el B.O.E. del 28 de abril de 1998).