

**XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
PUNTA DEL ESTE, URUGUAY, NOVIEMBRE 2010**

**ESTUDIO DE LOS PATRONES DE COLMATACION OBSERVADOS EN LOS
SUMIDEROS DE LA CUENCA DE RIERA BLANCA (Barcelona, España)**

Manuel Gómez¹, Guillem Hidalgo¹, Beniamino Russo^{1,2}

¹Grupo Flumen, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, manuel.gomez@upc.edu

²Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia, La Almunia de Doña Godina, Zaragoza, España, brusso@unizar.es

RESUMEN:

Dentro del sistema de drenaje de una ciudad, el sistema de sumideros es el encargado de introducir en la red de alcantarillado las aguas de escorrentía producidas por las tormentas caídas. El diseño de dicho sistema de sumideros, la elección de los modelos adecuados y su ubicación es uno de los puntos fundamentales del sistema de drenaje. La hidráulica de estos sumideros ha recibido atención en los últimos años y cada vez más los fabricantes proporcionan la capacidad hidráulica de captación de cada sumidero. Pero estos datos suelen ser considerando agua limpia, mientras que en la realidad de la cuenca, numerosos sumideros pueden estar total o parcialmente colmatados, hecho que debería ser tenido en cuenta en los diseños. En este trabajo, se presenta una metodología para considerar los efectos hidráulicos sobre el sumidero derivados de la colmatación. A partir de una inspección de los sumideros de una cuenca, se buscan patrones de colmatación, formas repetitivas observadas en la colmatación de los sumideros, y la frecuencia de ocurrencia de los mismos. Se somete a ensayo hidráulico el sumidero colmatado, obteniéndose la cantidad de agua que puede ser captada por cada uno de ellos, y obteniéndose así el factor de reducción en la capacidad de captación a aplicar a cada uno de los patrones de colmatación y que puede ser utilizado en los estudios hidráulicos de escorrentía en la ciudad.

ABSTRACT:

Inside the drainage system of a city, the set of inlets is the one in charge of introducing in the sewer net the runoff produced by the local storms. The design of this system of inlets, the selection of the appropriate models and their location is one of the fundamental points of the drainage system design. The hydraulics of these drains has received attention in the last years and more and more the inletmakers provide the hydraulic capacity of each drain. But these data are usually considering clean water, while in the reality of the basin, numerous drains can be total or partially clogged, a point that should be kept in mind in the design process. In this work, we show up a methodology to consider the hydraulic effects over the inlet due to clogging. We start from a visual inspection of the inlets drains along the basin, looking for clogging patterns, repetitive forms observed in the clogging of the inlets, and their associated frequency. After that, we do hydraulic tests the clogged inlet, obtaining the real quantity of water that can be captured by each one of them, and through this way, we can define the reduction factor in the hydraulic capacity to apply to each one of the clogging patterns and that can be used in the hydraulic studies of runoff along the city.

PALABRAS CLAVES: Sumideros, colmatación, captación de agua superficial

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la civilización ha conllevado enormes cambios en la fisonomía de las ciudades, siendo uno de los más importantes, la introducción de los aspectos sanitarios en su estructura. Es común en las urbes desarrolladas encontrar una red de drenaje que facilite la evacuación del agua caída durante una tormenta. En muchos casos, esta red de evacuación se encuentra formada por dos circuitos: uno de carácter superficial que se identificaría como la propia red de calles, y otro ubicado en el subsuelo fácilmente reconocible como la red de alcantarillado. Estas dos vías están conectadas a través del denominado sistema de captación, formado por los miles de sumideros repartidos por las cuencas urbanas y encargado de recoger el agua que circula por la calle y trasladarla al entorno confinado de las alcantarillas.

De no funcionar correctamente alguna de las partes del sistema de drenaje, se producirán inundaciones de mayor o menor gravedad en función de la precipitación caída, de su intensidad y de la geografía del entorno, provocando molestias a los ciudadanos en su día a día y daños materiales o inclusive, personales. Es por ello que en el transcurso de las últimas décadas, desde las administraciones públicas se ha procurado otorgar grandes medios logísticos para subsanar problemas detectados en eventos de lluvia de periodos de retorno elevados a través de la construcción de infraestructuras de gran envergadura, y también asignando un conjunto de sumideros al sistema de captación.

Actualmente algunos de estos sumideros que componen este sistema se han caracterizado hidráulicamente en laboratorio en unas condiciones ideales, agua limpia, sumidero limpio, carencia de obstáculos en la calle, etc. que pueden estar muy alejadas de la realidad, donde el agua que circula por las calles arrastra la suciedad depositada en ellas hasta llegar a los imbornales donde quedan atrapados aquellos residuos sólidos de mayor tamaño obstruyéndose los orificios por donde discurre el agua. Parece pues necesario considerar esa pérdida real que se produce en la capacidad de captación de las rejillas, considerarla en los análisis del flujo en las calles, y poder realizar una mejor aproximación a la realidad del problema.

CAPTACION DE AGUA MEDIANTE SUMIDEROS: CARACTERIZACION HIDRAULICA

La presencia de agua en el pavimento de una calle siempre supone para el conductor una molestia y es causante a menudo de accidente debidos a la reducción de visibilidad y a la pérdida de adherencia de los neumáticos con el asfalto. Por esta razón, se inició una serie de estudios centrados en este ámbito, viendo la luz en el año 1979 una guía técnica pensada en el diseño del drenaje de las carreteras en tramos urbanos redactada por la Federal Highway Administration (FHWA 1979). Posteriormente, se actualizó en el Hydraulic Engineering Circular No. 12 (FHWA 1984) con el título "Drainage of Highway Pavement." Años más tarde, se divulgó a través del HEC-12 un método semiteórico desarrollado para estimar las capacidades hidráulicas de las calles y los procedimientos para ubicar los sumideros en estas y finalmente, mediante la publicación de Hydraulic Engineering Circular No. 22 (Brown et al. 1996) se mejoró el procedimiento a seguir en el diseño documentado en el HEC-12 considerándose nuevos aspectos a tener en cuenta admitiendo que la capacidad de captación de una rejilla depende de una gran diversidad de parámetros entre los cuales, cobran especial relevancia las características de la calle, del caudal circulante y sobre todo, de las características geométricas de la propia rejilla.

Denominaremos Eficiencia de captación de la rejilla, E , al cociente entre el caudal interceptado por la rejilla y el caudal de paso por la calle. Este parámetro nos ofrece información objetiva del rendimiento de una rejilla como estructura de captación frente al caudal que circula por la vía urbana. Se ha determinado en anteriores estudios (Gómez *et al*, 2005) (Russo, 2010) realizados en la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) que si se representa la eficiencia E en función de la relación Q/y (donde Q es el caudal

circulante junto a la cuneta (en el ancho de un carril de 3 m), mientras y es el calado aguas arriba del sumidero) se obtiene una relación que se ajusta en gran medida a una función potencial, de la forma:

$$E = A \left[\frac{Q}{y} \right]^{-B} \quad [1]$$

A día de hoy, en numerosos países del entorno anglosajón se utilizan los procedimientos descritos en el HEC-22 como guía técnica a seguir en el diseño hidráulico de una calle, aunque estos no nos indican como incorporar los problemas que surgen derivados de la colmatación en los cálculos de diseño de los imbornales. Por ello se ha optado como manera de proceder, de manera ampliamente aceptada (CDOH 2000; CCRFCD, 1999), aplicar un coeficiente de reducción de carácter empírico que reflejara la disminución de la funcionalidad de los sumideros, aplicándose directamente a la capacidad de interceptación reduciendo ésta en un 50%.

Recientemente, Guo (2006) propone que para una entrada tipo sumidero, el efecto de colmatación que se da es directamente proporcional al área de la entrada del sumidero mientras que para un sumidero ubicado en una depresión del terreno, el efecto que se obstruye es directamente proporcional a la longitud del sumidero. Basándose en sus visitas de campo, recomienda los valores de 0,25 para los sumideros en depresiones del terreno y 0,5 para los sumideros provistos de rejillas al nivel de la calle.

Pero en general este enfoque está orientado a una serie de sumideros que son muy distintos a los que tenemos en nuestro país. Otra idea es la siguiente: para un sumidero dado, ¿sería posible encontrar unos patrones de colmatación, formas típicas de colmatarse los sumideros, y a partir de los mismos, cuantificar la pérdida efectiva de capacidad de captación del sumidero? En esa línea, se propone una nueva metodología para aproximarse al tema de la colmatación de sumideros con los siguientes pasos:

- Visitas de campo para evaluar sobre el terreno y para los tipos de imbornales seleccionados, los patrones de colmatación observados, y su frecuencia de aparición
- Definición de esos patrones y las veces que aparecen, y si estos patrones están asociados a zonas de más o menos pendiente, cercanía de zonas de generación de sólidos, etc.
- Cuantificación mediante ensayos de laboratorio de la variación en la capacidad de captación de los sumideros, para cada uno de los patrones de colmatación observados.
- Definición de los factores de colmatación en cada rejilla y para cada patrón de colmatación. Aplicación de los resultados, según tipo de sumidero, en una cuenca objeto de estudio

CUENCA OBJETO DE ESTUDIO: RIERA BLANCA (BARCELONA, ESPAÑA)

Para evaluar esta metodología propuesta, se seleccionó la cuenca de la Riera Blanca en Barcelona (España). Su elección se debe a que se dispone de un excelente inventario de la cuenca, que incluye la posición de todos los sumideros y una buena información de los mismos, a través de la empresa de gestión del alcantarillado de Barcelona, CLABSA (Clavegueram de Barcelona S.A.). La cuenca presenta las siguientes condiciones

- Una topografía variada que supone la existencia de calles con diferentes pendientes clasificables en tres grandes grupos:

Tabla 1.- Clasificación de pendientes

Pendiente alta	P.A. > 3,5%
Pendiente media	3,5% > P.M. > 1%
Pendiente baja	1% > P.B.

- Dentro de sus dominios existe un gran número de rejillas pero en general con pocos modelos para poder proceder a la creación de una amplia base de datos asociados a pocos modelos de rejillas.
- La existencia de parques y zonas verdes que ayuden a la generación y aportación de material sólido responsable de la colmatación de las rejillas en todas las zonas de la cuenca y no solamente en su cabecera.
- Aunque no sea estrictamente necesario, si resulta de gran ayuda la disponibilidad de información en formato digital para agilizar el tratamiento de datos.

Esta cuenca se encuentra integrada dentro de las ciudades de Barcelona y Hospitalet del Llobregat y ambas ciudades se hallan ubicadas en la costa del mar Mediterráneo, asentadas en una plataforma de ligera pendiente formada entre los deltas fluviales de los ríos Llobregat, al sudoeste, y el Besòs, al nordeste, y limitadas por el sudeste por la línea de costa, y por el noroeste por la sierra de Collserola (con la cima del Tibidabo de 516,2 m como punto más alto) que sigue paralela la línea de costa, encajonando las ciudades en un perímetro muy delimitado. Las características topográficas de la cuenca en cuestión son las siguientes:

Tabla 2.- Características generales de la cuenca

Longitud eje principal	8,875 Km
Ancho medio	1,625 Km
Área	9,526 km ²
Cota superior	441,1 m
Cota inferior	4,3 m

Su sistema de captación está formado por 6068 rejillas, las cuales se pueden agrupar en 86 modelos distintos restando 261 rejillas por clasificar al encontrarse dentro de ámbitos de carácter privado no accesible. Pero solo 8 modelos agrupan casi más del 80% de todas las rejillas existentes. La cuenca de estudio, dada su ubicación geográfica, se puede interpretar como un modelo, no solamente para el resto de cuencas que conforman las ciudades de Barcelona y Hospitalet del Llobregat sino para todas aquellas cuencas de ciudades con un clima mediterráneo caracterizado por lluvias cortas y con intensidades altas.



Figura 1.- Fotografías tomadas en las visitas de campo

El estudio se inicia con una serie de visitas de campo para poder desarrollar la elaboración de un inventario donde se recojan la totalidad de los imbornales que se hallan dentro de los límites propios de la cuenca urbana de estudio, clasificándose cada uno de ellos según ubicación (coordenadas U.T.M.), modelo y pendiente de la calle donde se encuentran situados. Mediante este inventario, procederemos a la

elección de aquellos sumideros que puedan aportar una mayor cantidad de datos de su estudio, entendiendo que serán aquellos que tengan una mayor presencia dentro de la cuenca. Con este criterio se obtendrán 8 rejas de estudio diferentes, las cuales, representan el 80% del total de las rejas depositadas dentro de la cuenca de Riera Blanca. Estos modelos son los siguientes: Onda/Ebro, R-121, Meridiana, Delta, Impu, Diagonal, Teide y Reja corta-aguas.

Para hacer posible la empresa de la inspección visual y a la vez, poder definir los diferentes patrones de colmatación que se presentan en estas rejas, se crea un conjunto de imbornales de estudio que abarque como mínimo, un 10% de cada modelo, repartiéndose este porcentaje en partes iguales según si la pendiente de las calles era alta, media o baja. De este modo se procedió al registro de alrededor de 650 rejas.

Una vez concretado el conjunto de estudio, se realizó una inspección visual de este en cuatro etapas, fotografiándose cada una de las rejas. Las tres primeras se realizan en los 4 días posteriores a eventos de lluvia, dándose una duración máxima de 4 días a cada una de estas etapas entendiéndose que los patrones de colmatación que se puedan obtener una vez concluido el período pueden estar alterados por las brigadas de limpieza. La última inspección se ejecutó durante un periodo exento de precipitaciones con el fin de observar si aquellos patrones de colmatación observados en los días sucesivos a las lluvias persistían o si se veían reducidos por la limpieza de las calles.

PATRONES DE COLMATACION

A través de las diferentes visitas de campo se ha creado una base digital gráfica de datos con la cual se ha podido determinar los porcentajes de rejas obstruidas dentro de la cuenca así como definir aquellos patrones más comunes. Se ha procurado separar los datos obtenidos a partir de la observación de los sumideros durante la etapa calificada como seca de aquellos obtenidos en los días posteriores a los eventos de lluvia. De esta manera, se han podido diferenciar los patrones originados por el efecto de arrastre del agua de aquellos derivados de otros elementos. Finalizado el análisis de los datos se ha visto que aparecían 3 patrones para cada uno de los modelos de rejas, los dos primeros se denominarán C1 y C2 y serán aquellos determinados a partir de las fotografías tomadas en los días posteriores a las lluvias mientras que el último patrón denominado C3, será el correspondiente a las fotografías tomadas en la etapa seca, y que incluyen patrones de colmatación a largo plazo.

Los patrones de colmatación C1 resultan ser aquellos que más se repiten, dándose normalmente en calles estrechas, aunque también aparecen en alguna avenida, donde la limpieza se dificulta en gran medida por la presencia casi perenne de coches estacionados en la acera, que en algunos casos, sus ruedas descansan directamente encima de la reja, colaborando en su obstrucción. En estas rejas, el polvo se incrusta en las barras, recubriéndolas hasta taponar los espacios con anchos perpendiculares al flujo menor.

Para facilitar su observación y la variación que conllevan en su estudio, se ha otorgado un fondo grisáceo a la superficie que se encuentra colmatada modificando la geometría respecto a la reja en un perfecto estado de conservación, en las figuras siguientes.

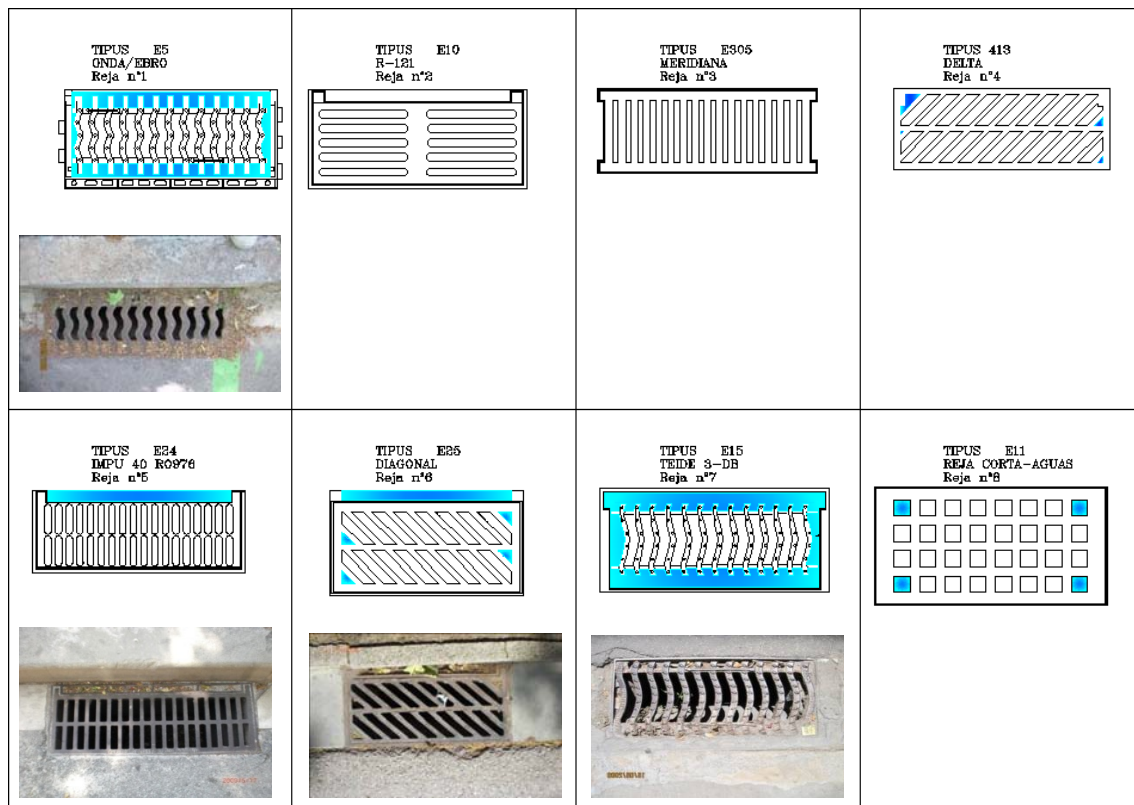


Figura 2.- Esquemas de los patrones C1 de colmatación de los imbornales seleccionados posteriores a los eventos de lluvia. Se clasifican del 1 al 8 según el orden de derecha a izquierda y de arriba abajo en la figura

A diferencia de las rejas 1, 4, 5 y 6, de las rejas 2 y 3 no se puede extraer patrón alguno de colmatación. En el caso de la reja número 8, decir que es empleada en calles con grandes pendientes o donde se prevé que circulen grandes caudales en el transcurso de sucesos de lluvia al tener una gran superficie (1 x 0,4 m.) y se acostumbra a ubicar en grupos de 2 hasta 4 en cada lado de la calle. Por ello, aún teniendo un patrón bastante definido, su área de huecos se ve poco influenciada y más si se tiene en cuenta no una sino, el conjunto que forman éstas, variando muy poco frente al área total y con ello, la pérdida en la eficiencia de la reja se prevé despreciable.

De observarse las diferentes series de fotografías con una mayor atención, se puede apreciar que algunas rejas sufren una mayor colmatación que aquella definida en el patrón C1, debido en gran parte a la ubicación y a fenómenos aleatorios como puede ser la proximidad de una rueda de un vehículo aparcado en el entorno de la reja, estando la rueda estacionada aguas abajo de la reja, dando paso sin obstruir al flujo del agua y facilitando la colmatación de la reja por los residuos al no quedar atrapados en el entorno de la rueda. El patrón de colmatación C2, aunque resulte ser más grave que el anterior patrón no se observa con tanta asiduidad, encontrándose en torno entre el 3 y el 5% del total de las rejas estudiadas para cada modelo. Se observa que en casi todas las rejas este nuevo patrón de colmatación modifica muy poco al anterior, siempre aumentando la superficie colmatada tomando como punto de partida las secciones ya taponadas con suciedad y extendiéndose por los orificios contiguos a los colmatados en el patrón de colmatación C1.

Las rejas que sufren una mayor variación entre los patrones de colmatación C1 y C2 son las rejas 1 y 5 (EBRO y IMPU) mientras que para las rejas 2 y 3 (R-121 y MERIDIANA) no se consigue apreciar un patrón de colmatación establecido.

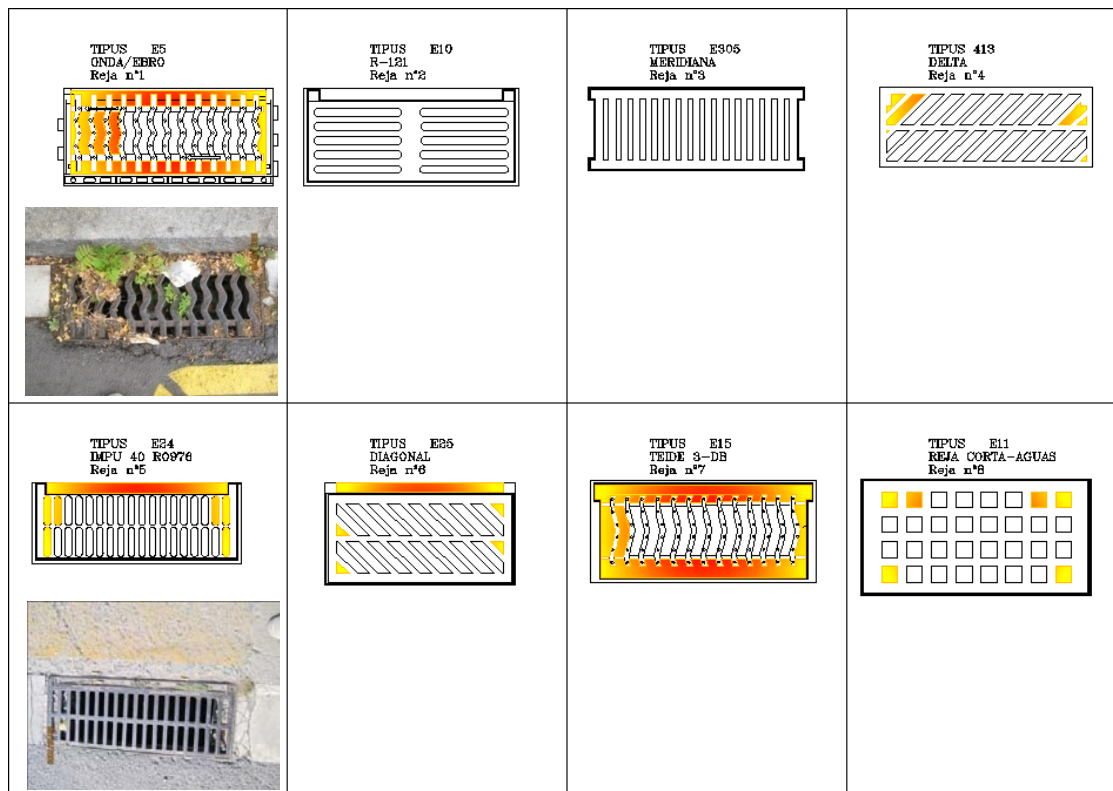


Figura 3.- Esquemas de los patrones C2 de colmatación de los imbornales seleccionados posteriores a los eventos de lluvia

Fruto de la visita de campo en la etapa seca, se observa que se produce la caída de la hojarasca a la vez que se inicia el periodo vacacional de gran parte de la población, reduciéndose la cantidad de vehículos estacionados en las aceras y propiciando que se dé una mayor concentración de suciedad en torno a las rejatas. Este hecho nos induce a la reflexión final de que en los últimos años se va produciendo un avance de las temporadas meteorológicas, los árboles florecen antes de la estación y a su vez, pierden sus hojas antes de los meses más comunes para ello.

A este fenómeno se le podría denominar colmatación estacional, al tratarse de una obstrucción temporal de las rejatas que se da una vez al año y por un período breve de tiempo, pues una vez se termine el periodo vacacional de la población y se reempresen los servicios de limpieza esta desaparecerá fácilmente al no encontrarse fuertemente adherida a la geometría de la reja, sino, más bien suelta, formando una capa superior depositada por el viento que se ha visto aglutinada en la superficie de la reja a causa del aumento del coeficiente de rugosidad entre la rigola y la propia reja. Esta colmatación, por temporal no deja de ser importante, pues de darse un suceso tormentoso podrían inundarse las zonas, donde las pendientes resultantes de las calles son prácticamente nulas, normalmente en la parte más baja de la cuenca, siendo más susceptibles a estos fenómenos.

En esta última serie de fotografías se pueden apreciar ciertas alteraciones en los patrones de colmatación observados anteriormente en las series posteriores a los eventos de lluvia. Aunque en menor medida en que se dan los patrones de colmatación anteriores, algunas rejatas muestran una evolución de su patrón de colmatación si no se les dedica una limpieza asidua y constante en el tiempo. Las más representativas de este fenómeno, son las rejatas ONDA/EBRO y la TEIDE, seguidas por el modelo IMPU. Estas sufren un avance de la colmatación, inicialmente taponando aquellos espacios de menor ancho y que normalmente se sitúan en los bordes de la reja y posteriormente, se van obstruyendo los orificios interiores hasta taponar toda la reja en los casos más severos.

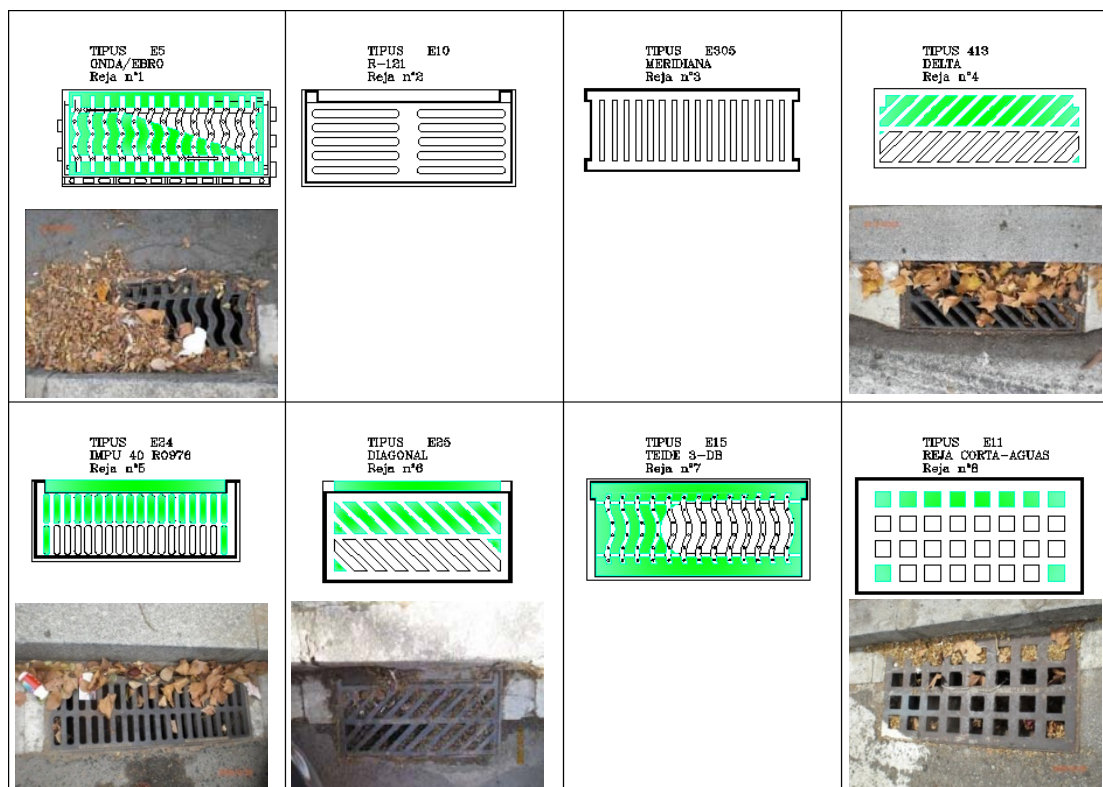


Figura 4.- Esquemas de los patrones C3 de colmatación de los imbornales seleccionados en periodo seco

FRECUENCIAS DE PATRONES DE COLMATACION

Se ha constatado que la aparición de los patrones de colmatación parece ser independiente respecto la pendiente existente en las calles aunque se pueda asociar a una reducción en el tiempo que tardará en colmatarse en su totalidad según comentarios de los servicios de limpieza. Además, se ha podido contabilizar la presencia de los diferentes patrones de colmatación en la cuenca observándose que el más común es el C1, el cual se puede encontrar junto al C2 o al C3, dándose unos porcentajes de colmatación de las rejatas altos si tenemos en cuenta que no todas las rejatas que se hallan colmatadas se han podido clasificar en uno u otro patrón de colmatación.

Tabla 3.- Presencia de los sumideros en la cuenca

Reja	Patrón C1	Patrón C2	Patrón C3	C1 + C2	C1 + C3	% total de la cuenca
Onda/Ebro	75,20%	3,20%	11,30%	78,40%	86,50%	9%
R-121	-	-	-	-	-	21%
Meridiana	-	-	-	-	-	9%
Delta	12,73%	11,82%	1,82%	24,55%	14,55%	7%
Impu	50,00%	19,30%	15,79%	69,30%	65,79%	12%
Diagonal	30,00%	13,33%	23,33%	43,33%	53,33%	3%
Teide	81,03%	6,90%	3,45%	87,93%	84,48%	17%
Reja	36,17%	12,77%	24,14%	48,94%	60,31%	2%

CAPACIDAD DE CAPTACION DE REJAS LIMPIAS Y COLMATADAS

Tal y como se indicó con anterioridad, si se grafica la eficiencia E en función del valor de Q/y, se obtiene una relación que se ajusta en gran medida a una función potencial de la forma:

$$E = A \left(\frac{Q}{y} \right)^{-B} \quad [1]$$

donde Q es el caudal circulante junto a la cuneta en un ancho de 3 metros, y es el calado aguas arriba del sumidero y los parámetros A y B son característicos de cada sumidero, y se obtienen a partir de ensayos de captación:

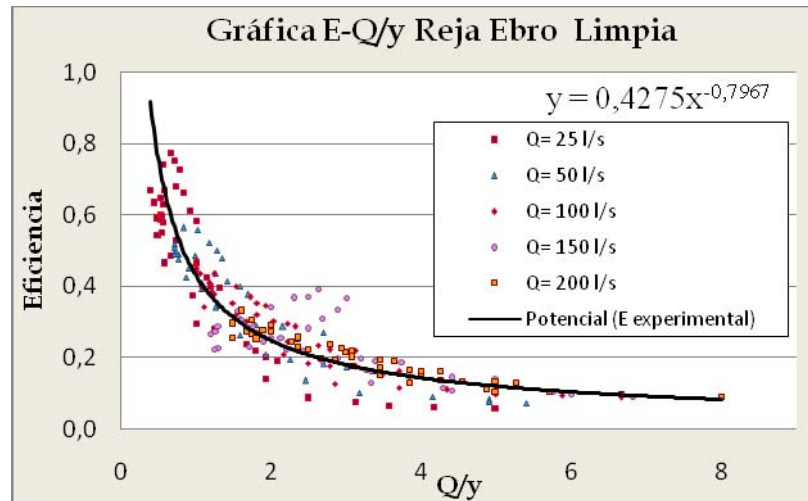


Figura 5.- Gráficas E-Q/y para el estado limpio

Como se muestra en la figura anterior, la reja Ebro en su estado limpio responde a esa función potencial comentada. La pregunta surge entonces sobre las rejillas colmatadas. ¿Siguen siendo válidas estas leyes potenciales? Para comprobarlo, se ensayan las rejillas con los patrones de colmatación obtenidos de cada reja, tapando con yeso los huecos que en la realidad se encuentran colmatados.

Una vez graficados los valores obtenidos, se observa que estos también se ajustan mediante una relación potencial aunque ahora el valor correspondiente a la relación Q/y de la eficiencia se ve reducido. A través de estos ajustes, podemos hallar un coeficiente γ que nos relacione la eficiencia entre el estado limpio de la reja y la que se da en los diferentes estados de colmatación, este coeficiente de seguridad tomará distintos valores dependiendo de a qué patrón se aplique como se observa en la tabla 4.

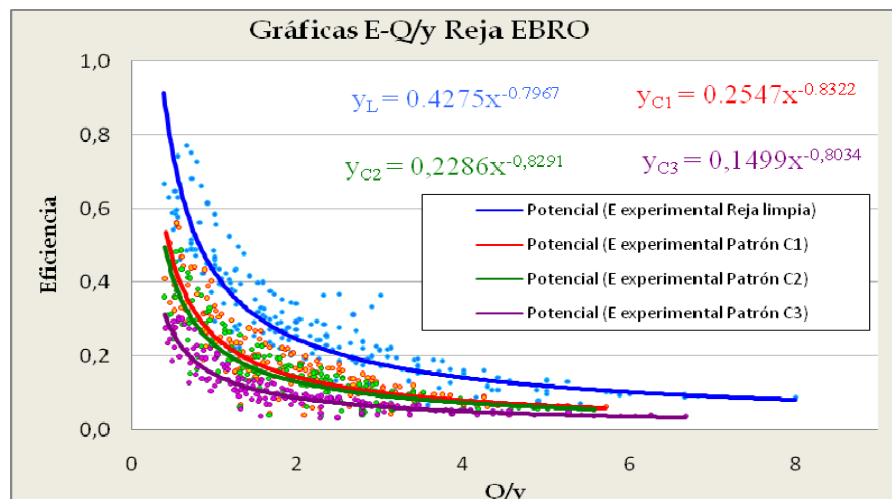


Figura 6.- Gráficas E-Q/y para los estados limpio y colmatado de la reja Ebro

Tabla 4.- Parámetros A y B de las rejas limpias y colmatadas

IMPU	Reja limpia	Patrón C1	Patrón C2	Patrón C3
A	0,3858	0,2553	0,2328	0,1520
B	0,8728	0,8269	0,847	0,9108
EBRO	Reja limpia	Patrón C1	Patrón C2	Patrón C3
A	0,4275	0,2547	0,2286	0,1499
B	0,7967	0,8322	0,8291	0,8034

Al profundizar en el estudio de los datos obtenidos en el laboratorio, se ha comprobado que la variación absoluta de eficiencia entre el valor asociado a la reja limpia y a la reja colmatada con alguno de los patrones observados, se puede representar también mediante una expresión de tipo potencial, ΔE frente al parámetro Q/y . Esto nos permite para cada patrón de colmatación propuesto, C1, C2 y C3, cuantificar de una forma rápida con una expresión matemática la variación que sufre la eficiencia por la colmatación.

Finalmente se ha realizado también el análisis de la variación relativa de eficiencia de la reja al colmatarse frente a diferentes condiciones de flujo o geometría de la calle, expresada a través del parámetro Q/y . Dicha expresión de la variación relativa de eficiencia $\Delta E/E$ se observa que es casi constante tanto para caudales de paso bajos o pendientes reducidas (valores de Q/y bajos) como para caudales altos o pendientes elevadas (Q/y altos). Ello permitirá simplificar mucho el cálculo del comportamiento del sistema de captación al poder afectar a todos los sumideros del sistema de un factor de reducción de la eficiencia α de captación constante, independientemente de la posición en que se encuentre dentro de la cuenca o del caudal que circule por la calle.

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{E_{\text{lim pia}} - E_{ca}}{E_{\text{lim pia}}} = \alpha \quad [2]$$

$$E_{ca} = E_{\text{lim pia}}(1 - \alpha) \quad [3]$$

La tabla 5 resume los valores a aplicar para realizar los cálculos de eficiencia en cada reja colmatada, tal y como se recoge en la ecuación 3. Si bien de acuerdo con la figura, el valor de α depende de las condiciones de flujo, nos interesa en especial evaluar el comportamiento para los caudales de circulación por la calle del mismo periodo de retorno que la tormenta de proyecto. Hemos considerado en este caso el factor Q/y de valor 10, a la hora de definir este parámetro.

Tabla 5.- Factor de reducción de la eficiencia α

	Patrón C1	Patrón C2	Patrón C3
α_{EBRO}	0,450	0,500	0,675
α_{IMPU}	0,270	0,360	0,640

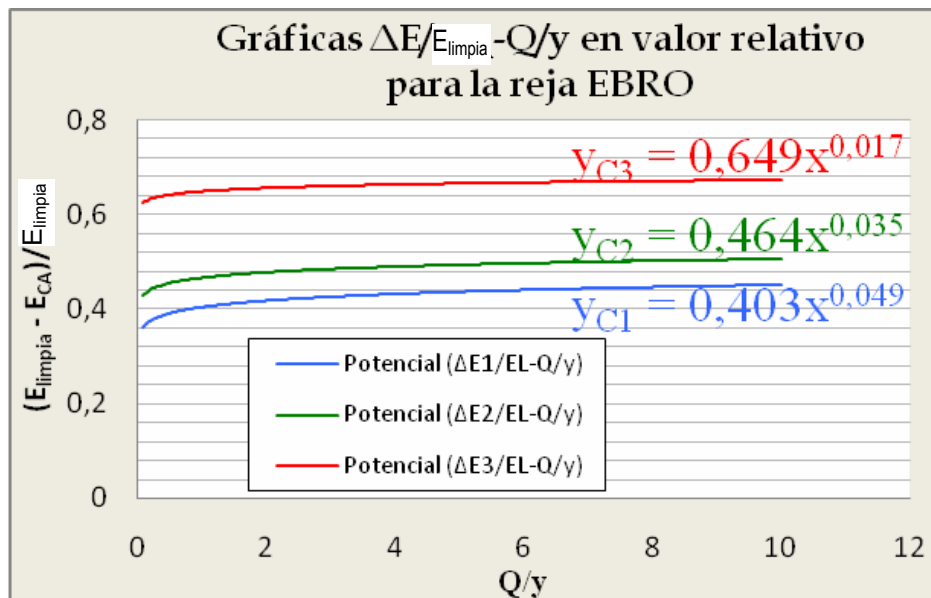


Figura 6.- Gráficas $\Delta E/E_{limpia} - Q/y$ en valor relativo

CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta una propuesta de metodología para considerar los efectos de colmatación sobre la captación de un sumidero o un sistema de sumideros en una ciudad. De manera adicional, se muestra la aplicación a una cuenca de la ciudad de Barcelona. A la vista de los resultados obtenidos podemos indicar una serie de conclusiones:

1. En un modelo de imbornal no siempre se presentará un mismo patrón de colmatación, sino que existen varios patrones para un mismo modelo, siendo algunos de estos, evoluciones en el tiempo de un mismo patrón.
2. Se ha confirmado que los patrones de colmatación se producen de manera homogénea en toda la superficie, repartidos indistintamente de la pendiente que domine la calle en que se encuentren. Es decir, la pendiente de la calle no afecta en la forma del patrón de colmatación aunque si pueda afectar en la rapidez de su aparición y en el tiempo que tarde la reja en pasar de un patrón a otro.
3. Todos los patrones de colmatación de una reja producen una reducción de la eficiencia de captación de esta.
4. A partir de los ensayos, se ha constatado que el coeficiente de seguridad γ tienen una mayor dependencia del parámetro A que del parámetro B.
5. La variación absoluta de eficiencia entre el valor asociado a la reja limpia y a la reja colmatada con los patrones observados, se puede representar mediante una expresión de tipo potencial, (ΔE , frente al parámetro Q/y). A partir de ella se puede cuantificar de una forma rápida mediante una expresión matemática la variación que sufre la eficiencia por la colmatación según el patrón de colmatación.
6. El análisis de la variación relativa de eficiencia ($\Delta E/E$) de la reja colmatada frente a diferentes condiciones de flujo o geometría de la calle, expresada a través del parámetro Q/y se muestra constante tanto para caudales de paso bajos o pendientes reducidas (valores de Q/y bajos) como para caudales altos o pendientes elevadas (Q/y altos). Ello permitirá simplificar mucho el cálculo del comportamiento del sistema de captación al poder afectar a todos los sumideros del sistema de un factor de reducción de la eficiencia α de captación constante, independientemente de la posición en que se encuentre dentro de la cuenca o del caudal que circule por la calle.

7. Por último, sería aconsejable introducir en los estudios de inundabilidad de una cuenca urbana un porcentaje del 10% de rejillas colmatadas con coeficientes de seguridad mayores ($\gamma=3$) entendiendo que los porcentajes que se pueden encontrar en las calles de los patrones C3 son parecidos o menores mientras que se puede conservar el valor $\gamma=2$ para las demás.

Agradecimientos

La información del inventario de rejillas y sumideros fue proporcionada por la empresa Clabsa, gestora de la red de alcantarillado de Barcelona. Se agradece en especial la colaboración y las facilidades otorgadas por el Sr. Pere Malgrat y la Sra. Silvia Bordonas, respectivamente Director Técnico y Jefe del Servicio de Cartografía y Soporte de la empresa.

REFERENCIAS

- Brown, S. A., Stein, S. M. & Warner, J. C.,** (1996). *“Urban drainage design manual, Hydraulic Engineering Circular No. 22.”* Federal Highway Administration, US Department of Transportation, Washington DC, USA.
- Clark County Regional Flood Control District (CCRFC),** 1999. *“Hydrological criteria and drainage design manual”*. Clark County, USA.
- Colorado Department of Transportation (CDOH),** (2000). *“Hydraulic Design criteria for highways”*. Hydraulic Division Center, Denver, USA.
- Gómez, M., Russo, B.** (2005) “Comparative study among different methodologies to determine storm sewer inlet efficiency from test data”. Proc. 10 Conference on Urban Drainage. Copenhagen. ISBN 87-89220-80-3
- Guo, J.C.Y.** (2006). “Design of street curb opening inlets using a decay-based clogging Factor”. Journal of Hydraulic Engineering. Noviembre. pp. 181-186
- Hidalgo, G.** (2009). “Estudio de los patrones de colmatación observados en los sumideros de la cuenca de Riera Blanca. Tesina de Especialidad. ETSECCPB. U.P.C. Barcelona. España.
- Martínez, P.** (2000). Estudio de eficiencia de captación de rejillas y criterios de ubicación en viales urbanos. Tesina de especialidad de la ETSECCPB. U.P.C. Barcelona. España.
- Russo, B.** (2010). “Design of surface drainage systems according to hazard criteria related to flooding in urban areas”. PhD thesis. E.T.S. Ing de Caminos. UPC. Barcelona.