

Captación de escorrentía superficial en redes de drenaje urbano

El sistema de captación superficial en redes alcantarillado, imbornales y rejas, es el encargado de que la escorrentía se introduzca en los colectores, por lo que su papel en el drenaje es fundamental. A pesar de lo obvio de la consideración que antecede, en la práctica no se presta la suficiente atención al cálculo de dicho sistema de captación. Diversos son los motivos, entre ellos, la falta de información sobre la capacidad hidráulica de las estructuras comercializadas. El presente artículo pretende contribuir a que se tome en consideración la necesidad de optimizar el diseño de los sistemas de captación, para evitar funcionamientos ineficaces de la red de colectores de nuestras poblaciones.

► Por Raúl López Alonso

INGENIERO TÉCNICO DE OBRAS PÚBLICAS
PROFESOR DE INGENIERÍA HIDRÁULICA,
UNIVERSIDAD DE LLEIDA

Generalmente, al abordar el diseño de un sistema de drenaje urbano se realizan importantes esfuerzos en el cálculo de la escorrentía generada y en su posterior propagación por la red de alcantarillado. Por el contrario, no es habitual que un esfuerzo equiparable se aplique en la determinación del sistema de captación superficial que conecta los aspectos hidrológico e hidráulico. Sin embargo, la importancia de un cálculo adecuado del mismo es fundamental. Por ejemplo, si debido a un mal diseño la escorrentía no es captada en



Imbornal de ventana u lateral.

las estructuras previstas, es posible que se produzcan transferencias a subcuencas limítrofes, lo que implica que podrían coexistir zonas de la red infradimensionadas con otras sobredimensionadas. Por lo tanto, un diseño que a priori es correcto puede quedar absolutamente invalidado por la modificación del esquema hidrológico-hidráulico que comporta un funcionamiento inadecuado del sistema de captación.

Pero además, diseños inadecuados o mantenimientos insuficientes de los elementos de captación de escorrentía ponen en peligro el tráfico rodado y la movilidad de los viandantes. Efectivamente, es de sobra conocido que la existencia de una capa de agua sobre el firme puede condicionar la seguridad del tráfico de vehículos. La lámina de agua actúa como un lubricante disminuyendo el coeficiente de rozamiento entre los neumáticos y el firme. Cuando la velocidad es moderadamente alta y la lámina de agua tiene un espesor importante, las ruedas se despegarán del firme y dejarán de rodar, produciéndose el fenómeno conocido como hidropneumático. También es frecuente que las salpicaduras del agua re-

duzcan la visibilidad de los conductores y provoquen molestias a los peatones.

TIPOLOGÍAS DE ESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN

Las estructuras de captación más habituales en nuestras poblaciones pueden ser clasificadas de acuerdo con su diseño en: imbornales de ventana, de reja y mixtos. Además, por sus características particulares, consideraremos independientemente las rejas interceptoras. A continuación, se tratan los aspectos más significativos de dichas estructuras.

IMBORNAL DE VENTANA O LATERAL

Consiste en una abertura practicada en el plano del bordillo que limita la calzada, de modo que permite que parte o la totalidad del flujo que circula se introduzca en la red. El principal factor que condiciona su capacidad de captación es la altura de la lámina de agua del flujo susceptible de ser captado; por consiguiente, no se aconseja su adopción en pendientes longitudinales pronunciadas combinadas con bajos bombeos de la calzada. Además, para au-

mentar la eficiencia de este tipo de imbornal conviene, siempre que sea posible, practicar una depresión en la calzada a su alrededor, pues de lo contrario la capacidad es realmente baja en comparación con otros tipos.

Una de sus ventajas respecto a los imbornales de reja es su menor interferencia con el tráfico, si no presentan depresión, por lo que puede ser el tipo más seguro en vías de alta velocidad, en la circulación de vehículos de dos ruedas, sobre todo bicicletas, o en los pasos de peatones. Si se ubican en cuencas productoras de sedimentos son más seguros que los imbornales de reja frente a la obturación por parte de los sólidos que arrastra el flujo; no obstante, permite con mayor facilidad su introducción en la red. Para la seguridad de los viandantes, particularmente respecto a los niños, es adecuado que la altura de la ventana no supere los 15 cm.

IMBORNAL DE REJA U HORIZONTAL

Consiste en un gran orificio practicado en el plano de la calzada, cubierto por una reja, de modo que el flujo es captado de forma similar a un vertido de fondo. Existe una gran variedad de rejadas en función del tamaño, forma, distribución y orientación de las barras que conforman las mismas. Así, en cuanto a su forma, son más comunes las de sección rectangular y circular. Las barras pueden estar orientadas en posiciones paralelas a la dirección del flujo, perpendiculares al mismo o esviadas. Esta última disposición es la más adecuada para la seguridad de los ciclistas, sin embargo, presenta mayor facilidad de obturación por sólidos que las orientadas de modo paralelo.

El factor principal que controla la capacidad de este tipo de estructuras es la cantidad de flujo que circula por la zona que resulta de la proyección del ancho de la misma hacia aguas arriba. Asimismo, se observa que la longitud de reja más eficiente es la que actúa en primer lugar, por lo que dada una reja la orientación más adecuada es la que maximiza el ancho, lo que se logra colocando la mayor dimensión perpendicularmente a la dirección del flujo. En general, tienen mayor capacidad hidráulica que el imbornal de ventana, sobre todo frente a pendientes longitudinales pronunciadas.

Presentan el inconveniente de que in-



Imbornales de reja u horizontal.

terfieren la circulación de vehículos, especialmente en vías de alta velocidad cuando existe depresión respecto a la calzada y en mayor medida a la de vehículos de dos ruedas. Por otro lado, como ya se ha comentado, tienen la facilidad de captar los sólidos que transporta el flujo, lo que en el caso de querer evitar su entrada a la red puede ser interesante si se combina con un mantenimiento adecuado.

IMBORNAL MIXTO

Consideraremos un imbornal mixto a la estructura de captación resultante de la combinación del imbornal de ventana o lateral y el de reja, con el objetivo de tomar los aspectos más positivos de ambos. Las ubicaciones de la reja o rejadas respecto al imbornal lateral pueden ser variadas, pero la configuración más eficiente será la que consiga que la ventana atraiga el flujo y que el que rebase la misma sea captado por la reja aguas abajo. De lo contrario la aportación a la eficiencia del conjunto por parte del imbornal lateral es insignificante. Como regla práctica podemos decir que solamente es aconsejable la colocación del imbornal mixto en puntos donde ya lo era previamente el imbornal de ventana, pues se ha comprobado que en viales con pendiente longitudinal elevada y/o transversal reducida la ventana no colabora en el aumento de la capacidad de captación. En definitiva, el imbornal mixto debe entenderse como el resultado de completar el imbornal de ventana con el de reja pero no a la inversa, a no ser que

se desee reducir la probabilidad de obturación del imbornal de reja.

REJAS INTERCEPTORAS

Básicamente, el modo en que las rejadas interceptoras captan el flujo es análogo al imbornal de reja, es decir, a través de un orificio practicado en la superficie de la calzada y cubierto mediante una reja de barras metálicas. Ahora bien, sus dimensiones son mucho mayores, por lo que se suelen utilizar cuando se pretende obtener una superficie mayor de captación; por ejemplo, no es extraño el uso agrupado de rejadas de 10,5 m o cuadradas de 0,9 m. El peso de uno de estos elementos puede estar comprendido, en función del tamaño, entre 50 y 200 kilos, como resultado de los elevados cantos necesarios para resistir la carga de tráfico.

Generalmente, la ubicación de rejadas interceptoras corresponde a casos donde la captación del flujo se vea dificultada por viales en los que la combinación entre la pendiente longitudinal y transversal sea muy desfavorable o a soluciones a posteriori, donde no han sido colocados suficientes imbornales con anterioridad. En calles con bombeo excesivo no es adecuada una disposición de la superficie de captación tal que ocupe todo el ancho de la calzada, puesto que el flujo circulará concentrado en los laterales, donde la sección es mayor. En ese caso, la disposición correcta será la que concentre la superficie de captación en estos laterales.

Los inconvenientes destacables de las re-



Imbornales mixtos.

Las interceptoras están relacionados con su gran tamaño. En efecto, producen una interacción importante con el tráfico rodado y no es adecuada su ubicación en cruces peatonales. Los tamaños de huecos formados por la reja, en general, son suficientemente grandes como para que sea difícil su obturación; por ende permiten que el material sólido transportado por el flujo se introduzca en la red.

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CAPTACIÓN

Interesa revisar, siquiera brevemente, las metodologías de cálculo que habitualmente se utilizan para estimar la capacidad hidráulica de las estructuras aquí analizadas. Las condiciones del flujo en las estructuras de captación están caracterizadas por la derivación de parte o de la totalidad del flujo que circula, es decir, se produce una disminución del caudal sección a sección a lo largo de la estructura. El flujo de estas características es el denominado espacialmente variado. No obstante, éste no es aplicable satisfactoriamente en el caso de imbornales, sobre todo para caudales bajos, ya que se producen en la realidad efectos de bidimensionalidad. Por lo tanto, si exceptuamos a las estructuras formadas por un grupo de rejillas interceptoras de modo que ocupen transversalmente todo el ancho del vial, no es abordable con garantía el cálculo de la capacidad de imbornales a partir de la resolución de las ecuaciones del flujo espacialmente variado.

Por otra parte, en España es frecuente el

uso de la Instrucción 5.2-I.C. de Drenaje Superficial (MOPU, 1990) para estimar la capacidad de los imbornales. En dicha instrucción se proponen una serie de expresiones basadas en ecuaciones de vertederos y orificios y que sólo permiten una aproximación, toda vez que no reproducen satisfactoriamente la variedad de tipologías y disposiciones, especialmente en imbornales de rejillas.

Debido a las limitaciones de los modelos anteriormente citados, en la práctica se hace necesario utilizar resultados de ensayos experimentales con los que poder elaborar curvas de calibración o relaciones empíricas auxiliares para el diseño. El medio a partir del cual obtener estas herramientas de ayuda al diseño es a través de la realización de ensayos hidráulicos en modelos físicos. Dicho modelo suele materializarse en una instalación que reproduzca un tramo de calle, permitiendo variaciones de la pendiente longitudinal y transversal, así como la posibilidad de colocar diferentes configuraciones de estructuras de captación: imbornales de ventana y de reja, mixtos y rejillas de interceptación. Los ensayos propiamente dichos, dada una estructura o agrupación de estructuras, consisten en medir el caudal interceptado en un rango de combinaciones de pendientes longitudinales y transversales. Con estos datos pueden confeccionarse curvas o expresiones empíricas con las que obtener la relación de interceptación para una estructura o combinación en particular. En nuestro país se cuenta con una instalación de este tipo en

la Universidad Politécnica de Cataluña (Cabot, Malgrat y Gómez, 1999)

Sería deseable que los fabricantes del sector suministraran curvas o expresiones derivadas de ensayos en modelo físico de cada estructura de captación que se oferte en sus catálogos. Esto facilitaría la labor del proyectista y, habida cuenta de la mayor confianza en los cálculos, el diseño podría ajustarse en mayor medida, traducándose en una optimización de los sistemas de captación. Por añadidura, a través del uso de modelos físicos, los fabricantes pueden perfeccionar sus productos actuales o incluso diseñar nuevas estructuras más eficientes para diferentes condiciones. En definitiva, se trata de que sean conocidas por todas las partes, fabricantes, proyectistas y administraciones, las características hidráulicas de las estructuras que se utilizan.

CONSIDERACIONES CUALITATIVAS SOBRE LA CAPACIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN

Gracias a la acumulación de datos proporcionados por los diferentes ensayos en modelo físico (López, 1995) se ha podido obtener una serie de información, tanto cuantitativa como cualitativa, del funcionamiento hidráulico de las estructuras de captación. A continuación, se comentan algunos aspectos acerca de la capacidad de interceptación de imbornales y rejillas, a partir de observaciones realizadas en dichos ensayos.

En general, es posible afirmar que para las tipologías de estructuras que se han tratado anteriormente, un incremento de la pendiente longitudinal de la vía y una disminución de la transversal conducen a un decrecimiento de la capacidad de captación de dichas estructuras, mientras que la situación inversa produce un aumento de la misma, si exceptuamos ciertos diseños especiales.

Los imbornales de ventana sufren una importante pérdida de capacidad en pendientes longitudinales pronunciadas y bombeos bajos, concretamente no se recomienda su colocación en caso de tener pendientes del vial superiores al 3% y anchos de inundación mayores de 3 metros. Excepcionalmente, con el uso de deflectores diagonales a lo largo de la abertura es posible que aumente la capacidad al incrementarse la pendiente longitudinal, ya que dichos deflectores se encargan de cap-



Rejas interceptoras.

tar y dirigir el flujo hacia la ventana.

Como se ha expuesto anteriormente, en el imbornal lateral la creación de una depresión en la calzada, en la zona de captación, produce un aumento en la eficiencia de la estructura. En estudios experimentales se observó que la profundidad de la depresión tiene más efecto en el aumento de la capacidad que la forma del área deprimida. Por otro lado, fijada una profundidad de depresión, si se prolonga ésta hacia aguas arriba de la abertura una cierta distancia, aumenta la capacidad. Sin embargo, si esta prolongación se realiza más allá de un cierto valor óptimo, que depende de la pendiente longitudinal y transversal, la capacidad decrece casi a su valor original. En cuanto a la forma, se comprobó que una depresión de planta triangular con la base situada a la distancia óptima y el vértice en el extremo más aguas abajo de la ventana, presenta un 80 % más de capacidad que su correspondiente de forma rectangular y de igual profundidad.

Los imbornales de reja presentan menor sensibilidad en la capacidad respecto de aumentos de la pendiente longitudinal que los de ventana, incluso un modelo sin depresión incrementaba su capacidad al aumentar la pendiente longitudinal. Asimismo, para una misma capacidad requieren una estructura de captación de dimensiones inferiores que los laterales. En cuanto a la orientación de las barras de la reja, los experimentos pusieron de manifiesto que las barras paralelas a la dirección del flujo interceptan mayor caudal que las transversales. Sin embargo, las barras con la incli-

nación adecuada pueden ser más eficaces que las longitudinales, sobre todo si presentan una curvatura respecto a la vertical.

Ensayos realizados con estructuras de captación mixtas, imbornales de ventana y reja, mostraron que para una estructura concreta, dada una pendiente longitudinal y un caudal de circulación, existe una pendiente transversal que hace máximo el caudal interceptado. Es decir, si bien la eficiencia aumenta con la pendiente transversal, a partir de un valor óptimo no se produce un aumento de la misma, e incluso se aprecia una ligera disminución.

Finalmente, es necesario destacar la importancia que para la capacidad de una estructura tiene un mantenimiento adecuado frente a la obturación de la zona de captación por parte de los sólidos acarreados por la escorrentía superficial. En particular, esto es especialmente importante en estructuras que tengan algún tipo de reja, puesto que presentan una mayor facilidad de atrapar, entre los huecos que forman la reja, los sólidos transportados por el flujo.

DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN

El diseño del sistema de captación de escorrentía superficial consistirá en la selección de la tipología y modelo de estructura, así como en la determinación del número y separación entre las mismas, tendiendo a un equilibrio entre la capacidad hidráulica del sistema y el coste económico. Los procesos de cálculo suelen basarse en criterios de limitación del ancho de inundación. A este respecto hay que señalar que la determinación de la capacidad

hidráulica de los viales que a priori parece no presentar demasiadas dificultades, habida cuenta de la regularidad geométrica de los mismos, se complica si consideramos efectos como el provocado por las ruedas de los vehículos estacionados.

Es frecuente en el cálculo la aplicación de un coeficiente de reducción a los caudales interceptados, con objeto de reproducir el efecto de obturación de las estructuras. Por ejemplo, un 10% para los imbornales de ventana y un 25% para los de reja. A la disminución de la capacidad producida por la obturación que causan los sólidos transportados por el flujo, hay que añadir la que provoca la obstrucción de las ruedas de los vehículos estacionados.

Además de la ubicación de estructuras, según el criterio de limitación de ancho de inundación, pueden existir puntos singulares que exijan la colocación de imbornales. Algunos de éstos pueden ser puntos bajos con pendiente nula, puntos donde se reduzca la pendiente longitudinal de la vía, secciones aguas arriba de intersecciones con calles y pasos de peatones, así como aguas arriba de viales que cruzan puentes, ya que interesa que el sistema de drenaje del puente capte solamente la escorrentía creada en su superficie.

Por último, importa destacar que el diseño final del sistema de captación no siempre se determina únicamente con criterios de capacidad hidráulica, sino que en ciertas situaciones otros factores pueden ser decisivos. Entre estos factores, se pueden considerar la seguridad de los peatones y la del tráfico rodado, la facilidad de obturación de las estructuras y la estética urbana.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

CABOT; MALGRAT y GÓMEZ (1999): "Captación de aguas pluviales por los imbornales. Síntesis de los ensayos realizados a escala real", en *Tecnología del Agua*. Barcelona, 190, pp. 20-37.

LÓPEZ ALONSO, RAÚL: "Captación de Escorrentía Superficial: Rejas e Imbornales", en VV.AA. (1995): *Curso de Hidrología Urbana*. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya.

MOPU (1990): Instrucción 5.2-I.C. *Drenaje Superficial*. MOPU, Madrid.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la labor fotográfica de Francisco Portillo. ◀