

5 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DE LA RIERA ROJA EN SANT BOI DE LLOBREGAT

Sant Boi del Llobregat es un municipio de la comarca del Baix Llobregat, englobado dentro del área metropolitana de Barcelona y situado a unos 17.5 kilómetros al sur de la capital catalana. Se ubica en un llano en el margen derecho del río Llobregat, que establece su límite oriental, mientras que al norte y occidente, limita con un sistema de montañoso marcado por la montaña de Sant Ramon.

En la década de los 50 se inició un crecimiento urbanístico en el municipio favorecido por una fuerte inmigración, dando lugar a barrios periféricos, que con el paso de las décadas se han consolidado a base de nuevas y mejores infraestructuras. Además, la explosión urbanística de los últimos años, fruto de la carencia de suelo y viviendas, junto con los elevados precios del mercado inmobiliario en la ciudad de Barcelona, ha provocado que el municipio de Sant Boi se encuentre sumergido en un nuevo desarrollo urbanístico, llegando ya a los 81181 habitantes en 2005 (fuente: *INE*).

A raíz de estas circunstancias, la industria también ha ocupado gran parte de la superficie del municipio, especialmente en las zonas más bajas y llanas, como los polígonos industriales del Fonollar, Riera Roja y Les Salines.

Debido a este proceso continuo de urbanización, la impermeabilidad del suelo ha aumentado considerablemente, agravando los ya existentes problemas de drenaje que adolecen las cuencas de acentuado clima mediterráneo, como es el caso. Este conjunto de circunstancias hace que sean habituales las inundaciones debidas a intensas lluvias, para perjuicio de los habitantes e industrias que viven y se desarrollan en Sant Boi.

5.1 DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA

El municipio se divide en 12 subcuencas, entre las que la Riera Roja, con 144 hectáreas, es la de mayor tamaño. Está limitada al norte por el parque de la Muntanyeta, una montaña rodeada del núcleo urbano, pero sin urbanizar, con cotas que llegan hasta los 72.2 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar). La cuenca discurre, desde este punto y en dirección sudeste, limitada al norte por las calles Pau Claris y Jaume Balmes y al sur por la avinguda d'Aragó, llegando a la cuenca del Fonollar y terminando su recorrido en la avinguda de la Marina, con cotas en torno a los 8 m.s.n.m.



Figura 6. Fotografía aérea y callejero de Sant Boi (cuenca de la Riera Roja). Fuente: elaboración propia a partir de *Googlemaps*.

De forma esquemática la cuenca tendría forma rectangular, con unos 1800 m de longitud y una anchura media de 800 m.

En el momento del estudio², la cuenca de la Riera Roja tiene un 64% de suelo impermeable. Este porcentaje, sin embargo, no está uniformemente repartido, sino que de las 51 ha de suelo permeable, 30 ha se encuentran concentradas en las 41 ha que conforman la cabecera de la cuenca (parque de la Muntanyeta y alrededores). Esto equivale a decir que el 60% del suelo permeable se localiza en el 28% del área total de la cuenca. Por su parte, la zona baja de la cuenca, formada por 63 ha, reúne 55 ha de suelo impermeable, lo que supone un 87% de impermeabilidad media en esta zona.

² La descripción y características hidrológicas e hidráulicas de la cuenca de la Riera Roja corresponden al momento de la realización de la tesina *Rehabilitación de redes de alcantarillado. Aplicación al caso de Sant Boi de Llobregat (Montero, 2001)*. El motivo es que la presente tesina toma como punto de partida los trabajos desarrollados en el citado trabajo.

También existe una clara diferenciación en cuanto a pendientes. La zona de cabecera, en una longitud de unos 500 m desde el inicio de la cuenca, tiene una pendiente media del 7.5%, mientras que en los últimos 500 m, a la salida de la cuenca, la pendiente escasamente llega al 1%.

La conjunción de zonas altamente impermeables (especialmente en la zona baja) y la distribución de pendientes medias-altas en cabecera y terreno muy llano cerca de la zona de desembocadura, define claramente el comportamiento de la cuenca. Se apunta al final de la zona de cabecera o zona media como la más afectada por los sucesos que provoquen el colapso de la red y la correspondiente inundación en superficie, al no poder la zona baja y de escasa pendiente, cumplir con su misión de desagüe.

Las características anteriores definen una tipología de trama urbana que puede considerarse representativa de otras cuencas urbanas mediterráneas del entorno y que presentan problemáticas de drenaje similares. Si además, a la situación descrita se le añade el factor de nuevo desarrollo urbanístico, con la consecuente impermeabilización de la zona de cabecera, las complicaciones se acentúan y se requiere de actuaciones y medidas de rehabilitación para disminuir la frecuencia de las inundaciones.

Geológicamente, la cuenca de la Riera Roja está formada por un macizo granítico meteorizado en los primeros metros en superficie, resultando un suelo de gran permeabilidad, pero de capacidad de infiltración limitada por la escasa profundidad de esta capa meteorizada. Esta información es relevante para la caracterización de los parámetros de infiltración en las zonas permeables de la cuenca.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE DRENAJE

La red de drenaje de Sant Boi es una red unitaria, donde discurren conjuntamente las aguas residuales y las pluviales. Desde el punto de vista de la forma, la red es básicamente ramificada, con zonas puntales que se considerarían malladas.

Los ejes que han sido objeto de simulación se pueden clasificar según su importancia en:

- Ejes principales o de primer orden:
 - Colector bajo la Ronda de Sant Ramon y la Calle Riera Roja hasta el punto de salida de la cuenca, con unos 1700 m de longitud, y secciones cajón de 1400x1300 mm a 1400x1400 mm. Es la línea principal de la red de drenaje.
 - Ramal que discurre por las calles Pau Claris–Balmes y Colón y se une con el principal en la Ronda de Sant Ramon, con 1400 m de recorrido aproximadamente y diámetros de 600 mm, 800 mm y cajón de 1200x800 mm. Es el segundo ramal en importancia.

- Ejes de segundo orden:
 - Eje en la calle Viladecans, vierte sus aguas al eje de Sant Ramon. Posee una sección de 600 mm de diámetro y una longitud aproximada de 500 m.
 - Eje que circula bajo la carretera de Calafell – Castelldefells y continúa por Riera Roja, paralelo al principal, con una longitud total de 1000m, con diámetros de 600 + 400 mm (conducto duplicado) y de 800 mm.
 - Formado por los conductos que llegan a la calle Asturias para seguir por Riera Roja, paralelo al eje principal. Se extiende lo largo de 600 m, con diámetros de 1200, 850 + 850 (dos conductos iguales) aumentando hasta 1200 + 1200 mm.
- Ejes de tercer orden: formados por los restantes ramales y que poseen diámetros menores y vierten a los ejes principales o secundarios.

La siguiente figura muestra el perfil longitudinal de los ejes primarios y algunos secundarios, pudiéndose apreciar dos zonas bien diferenciadas: la zona de la cuenca de cabecera y media, con pendientes entre el 5% y el 2%; y la zona baja, con pendientes menores al 0.5% en la mayoría de los tramos. Esta disposición permite avanzar que la zona baja, con pendientes pequeñas, es la más susceptible de tener los mayores problemas.

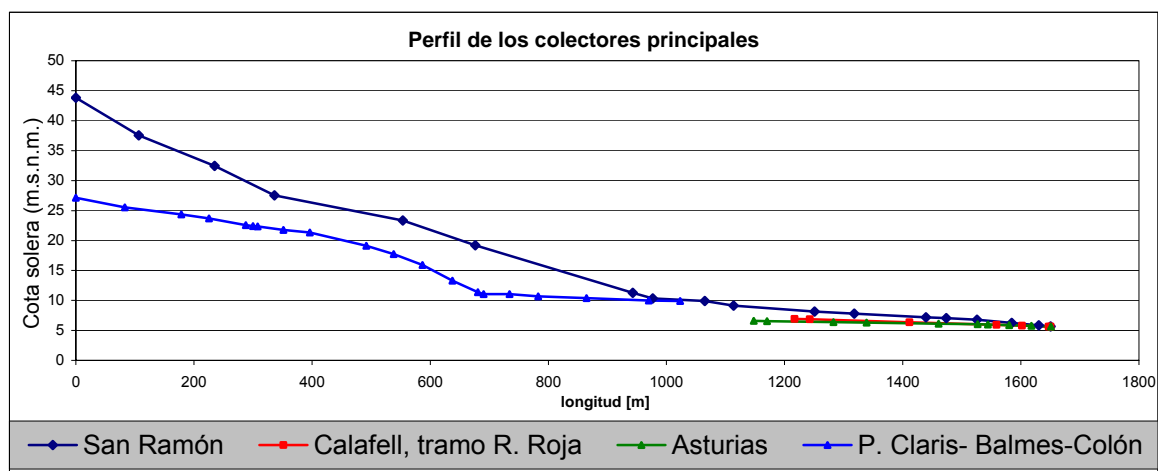


Figura 7. Perfil longitudinal de los principales ejes de la red de drenaje de la Riera Roja.

5.3 DIAGNOSIS DE LA RED DE DRENAJE

Como se ha comentado anteriormente, las inundaciones son frecuentes en la cuenca de la Riera Roja, siendo especialmente importantes en la zona media, donde la pendiente disminuye y el terreno está impermeabilizado. Un análisis previo comparando los valores de los caudales unitarios en la Riera Roja con valores estándar de referencia, a nivel cualitativo, muestra como efectivamente la parte baja de la cuenca es responsable, en gran medida del fallo de la red.

Se define el caudal unitario como el caudal que es capaz de desaguar un conducto por unidad de área; es el ratio entre el caudal máximo en un punto y el área de cuenca que drena por ese punto. El caudal en un conducto, a este nivel cualitativo, se puede aproximar por la ecuación de Manning. En general, se entiende que caudales unitarios del orden 12-17 m³/s/km² son suficientes para drenar lluvias proyecto asociadas a periodos de retorno de 10 años.

Los resultados que se obtienen son:

- 14.8 m³/s/km² en la zona de cabecera en el eje de Sant Ramon.
- 9.1 m³/s/km² en la zona de cabecera y media cuenca por el eje Pau Claris – Balmes.
- 18.5 m³/s/km² en la zona baja por el eje de Asturias.
- 5.68 m³/s/km² en la zona baja por la Riera Roja.

Se observa como el eje Pau Claris – Balmes y la zona baja por la Riera Roja son los tramos más problemáticos. En cualquier caso, la deficiente capacidad de la red en la zona final de desagüe traslada los problemas aguas arriba, afectando al funcionamiento global del sistema.

Se realiza un modelo hidráulico (*Montero, 2001*) para determinar con mayor precisión cuál es la respuesta de la red frente a una lluvia de proyecto, mediante el modelo matemático SWMM. A continuación se exponen las principales hipótesis y características de este modelo³:

- La lluvia de proyecto corresponde a la de periodo de retorno 10 años, con distribución de bloques alternados y un total de 56 mm, que se usa habitualmente para el diseño de la red de alcantarillado de Barcelona, obtenida a partir de las curvas IDF calculadas de la serie pluviométrica del Observatorio Fabra. En el *Anejo 11.1* y el *Anejo 11.2* pueden consultarse esta información. La lluvia se reparte uniformemente en toda la cuenca.
- La cuenca se ha dividido en 108 subcuencas, que drenan por sumideros definidos con la misma numeración, o bien por canales (calles), definidos por el número de la subcuenca más 1000 por cada subcuenca que atraviesa dicho canal. En el *Anejo 11.3* están descritas las principales características de las subcuencas.
 - Se ha estimado en la zonas permeables en terreno natural de cabecera un Manning de 0.10 y 0.05 para el resto. Para las zonas impermeables se ha usado 0.021.
 - La retención se ha estimado en 7 mm en las zonas permeables de cabecera, 3 mm en el resto de zonas permeables y 4 mm en las zonas impermeables.

³ Este modelo ha servido de base para la realización del estudio de vulnerabilidad (*Apartado 7*) desarrollado en esta tesina.

- La infiltración (descrita por la ecuación de *Horton*), tiene los siguientes valores: 15 para la capacidad de infiltración inicial; 2 para la capacidad de infiltración del suelo saturado; y 0.01 para el coeficiente de caída de la infiltración.
- Los conductos se codifican utilizando los códigos de los nodos que unen aguas arriba y aguas abajo (como norma general). El coeficiente de Manning considerado es 0.016. En el *Anejo 11.3* están descritas las características de todos los conductos.
- La condición de contorno aguas abajo se considera vertido libre, siendo en la realidad un vertido a un gran colector que desemboca en una estación depuradora de aguas residuales (EDAR).

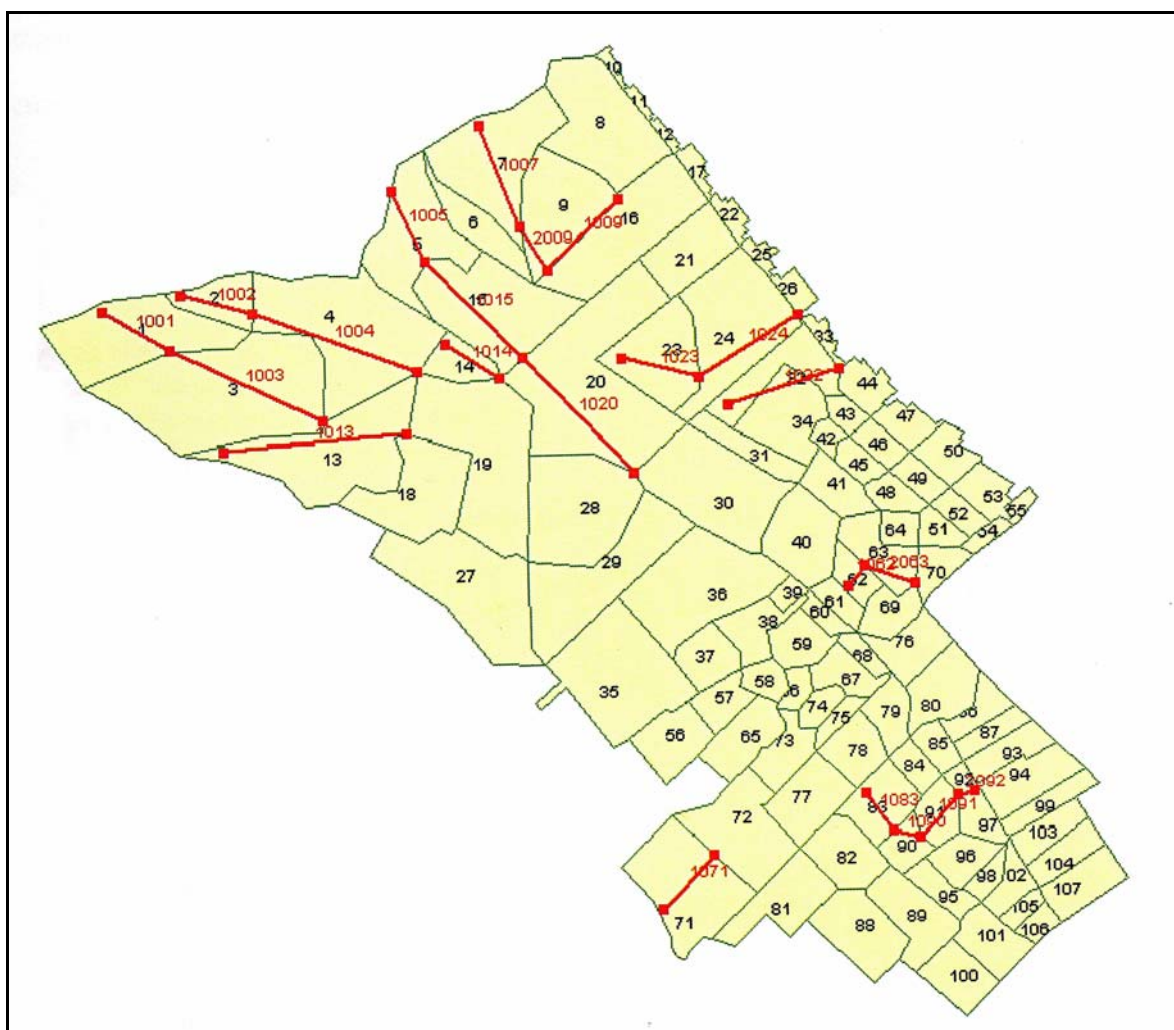


Figura 8. Representación de la subcuenca en que se divide la Riera Roja. En rojo, canales (calles) por las que circula superficialmente la escorrentía generada. Fuente: (Alcarria, 2004).

Los resultados del modelo mostraron, que para la lluvia de proyecto anteriormente descrita, la red tenía una grave incapacidad de drenaje. De los 81454 m³ de agua caídos sobre la cuenca, 3910 m³ se infiltraban al terreno, 358 m³ se evaporaban y 5098 m³ quedaban en la superficie en retención. El resto del agua, 72088 m³, se propagaba por la red de drenaje, aunque más del 56% de este caudal propagado volvía a la superficie en forma de vertidos en diferentes pozos de la cuenca. Concretamente, en 48 de los 87 pozos de la red simulada se producían vertidos, con un volumen total evacuado de 40366 m³.

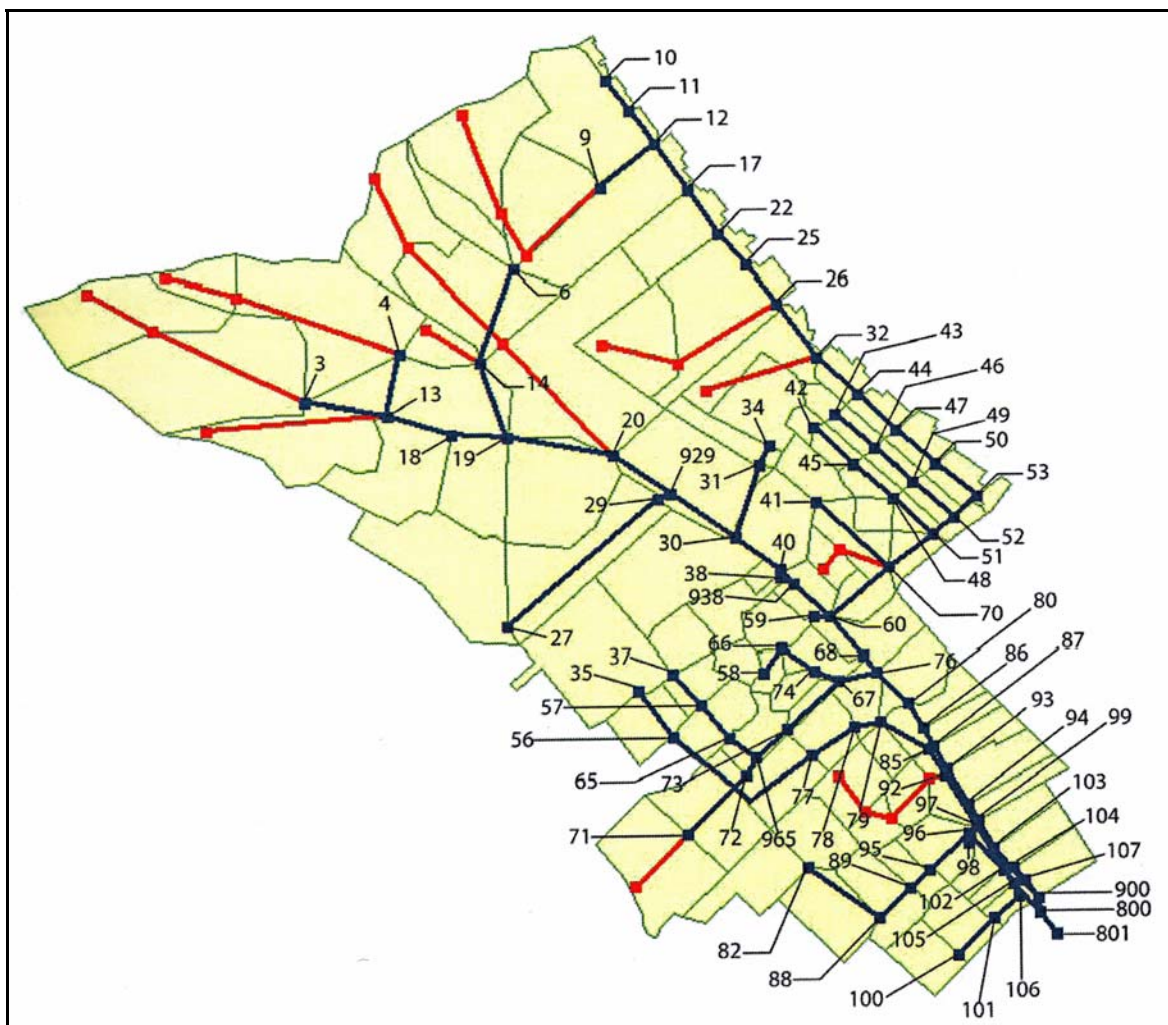


Figura 9. Representación de los nodos y conductos de la red de drenaje de la Riera Roja, antes de la propuesta de rehabilitación. Fuente: (Alcarria, 2004).

5.4 PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DE LA RED DE DRENAJE

Del análisis de la situación de la red de drenaje urbana de la Riera Roja, se puede concluir que la red está muy infradimensionada y requiere de actuaciones importantes para recuperar su capacidad de drenaje.

La rehabilitación se plantea en términos de eficacia, funcionalidad y viabilidad económica. Dado el grado de ineficacia de la red frente a la lluvia de proyecto analizada, una solución sería cambiar la mayoría de los ejes drenantes, lo cual es del todo inabordable tanto por el coste económico como social para el Ayuntamiento del municipio. Por estos motivos, se prefieren soluciones del tipo actuaciones locales frente a actuaciones longitudinales a lo largo de los ejes de drenaje, evitando, dentro de lo posible, actuar en los ejes principales, que discurren bajo viales también principales. Las medidas propuestas se basan en la construcción de depósitos de retención de aguas pluviales.

Se toman en consideración las siguientes premisas a la hora de situar y dimensionar los depósitos:

- Minimizar el volumen de almacenamiento de agua en los depósitos y restringir el número de depósitos al menor posible, dentro de una máxima eficacia de los mismos.
- Vaciado por gravedad de todos los depósitos, para un menor coste de explotación. Esto conducirá a una mayor ocupación en superficie, ya que la diferencia entre la cota de la solera de los conductos de la red e alcantarillado y la cota del terreno es pequeña en muchos puntos.
- Resguardo de seguridad de 50 cm entre su nivel máximo para la lluvia de proyecto y la cota de coronación del depósito, independientemente de su superficie, y por tanto, del volumen que ello represente. No se permite en ningún caso, que los depósitos entren en carga.
- Ubicar los depósitos en un terreno compatible con los usos actuales del suelo.

Cuando la única solución posible para solventar los problemas de la red sea el redimensionamiento de los conductos existentes o el diseño de algunos nuevos, también se siguen unos criterios de actuación:

- Minimizar la longitud de los conductos a sustituir, cuando esta sea la solución más eficaz y económica.
- Crear nuevos conductos de corta longitud, no necesariamente paralelos a los antiguos, que drenen una o varias subcuencas directamente a un depósito cercano, con la finalidad de aliviar la red.
- Sobre estos nuevos conductos se impondrá la condición de dimensionarlos con la menor sección posible que permita el funcionamiento en lámina libre, si bien la entrada en carga por tiempo limitado será admisible si se elimina la inundación en superficie.
- Para evitar reiteraciones innecesarias en el redimensionado de la red, y a efectos prácticos, en general se procurará realizar las actuaciones de mejora desde aguas arriba hacia aguas abajo.

Se establece un orden para actuar sobre la red de drenaje existente. Primero se solventan los problemas del eje principal, Sant Ramon – Riera Roja, y una vez

redimensionado, se pasa al eje Pau Claris – Balmes – Colón. Hay que tener en cuenta que al dar mayor capacidad a un eje, se está permitiendo la entrada de más agua al sistema; en este caso, al arreglar Pau Claris – Balmes – Colón, el eje Sant Ramon – Riera Roja recibirá una cantidad de agua que actualmente no recoge, por lo que es imprescindible la verificación de su capacidad de drenaje una vez planteadas las actuaciones. Una vez resueltos los ejes principales, se actúa sobre los secundarios, para reducir los volúmenes vertidos todo lo posible.

5.4.1 Actuaciones propuestas para la rehabilitación

Las principales actuaciones propuestas son las siguientes:

1. Eje Sant Ramon – Riera Roja

Se descarta la posibilidad de construir un colector que baje los 400 m de la calle de la Riera Roja con una capacidad suficiente de desagüe para sus subcuencas tributarias, por su elevado coste y dificultad de ejecución.

En primer lugar se decide ubicar un depósito (76), de 11375 m³ y 4550 m² de ocupación en planta, en un lugar idóneo, donde el eje recibe la incorporación del flujo que desciende por Pau Claris – Balmes – Colón, además de cumplir la condición de compatibilidad de usos del suelos. A la salida se coloca un orificio de 0.8 m², ya que uno más restrictivo (de área menor) no mejoraba la situación.

En segundo lugar se sitúa, siguiendo los criterios generales de actuación, un depósito (30), de 14025 m³ y 5100 m² de ocupación en planta, en uno de los pocos lugares que, por compatibilidad de usos, acepta una superficie de ocupación tan elevada. El orificio a la salida se propone de 0.8 m².

Se modifica el conducto (70076) del tramo final de la calle Sant Ramon, evitando así su funcionamiento actual en carga.

2. Eje Pau Claris – Balmes – Colón

La principal característica de las modificaciones propuestas en este eje es la de construir conductos de corta longitud que viertan directamente a depósitos de retención.

Se propone la construcción de un tercer depósito (17) de 5250 m³ y 3500 m² de ocupación en planta, para aliviar la red de la escorrentía generada en la zona de cabecera. Para que la capacidad de retención sea mayor, el orificio a la salida se dimensiona en 0.01 m².

Son varios los pozos (7 y 9) que se unen directamente al depósito, para verter ahí sus aguas y no incorporarlas directamente a la red de drenaje.

Un cuarto y último depósito (26) se dimensiona para obtener unos efectos de rehabilitación de la red mayores. Se ubica aguas abajo del depósito anterior, también en el vial Pau Claris, con el objetivo de, conjuntamente, de rebajar los volúmenes de escorrentía aguas abajo. Su capacidad es de 4675 m³ y 1700 m² de ocupación en superficie. Con el objetivo de laminar al máximo el hidrograma de entrada al depósito, se dispone un orificio a la salida de 0.01 m².

Finalmente, se decide actuar construyendo un nuevo conducto para solucionar situaciones puntuales donde los vertidos son mayores. Éste une un pozo (53) al final de la calle Balmes con el depósito 76 situado en la ronda de Sant Ramon.

3. Eje Viladecans

Este eje es el secundario con mayor número de vertidos. El causante es su infradimensionado conducto principal, de sección circular y 600 mm de diámetro.

Se plantea la posibilidad de construir un depósito de retención en el nodo de mayores vertidos, pero no es suficiente para resolver los problemas frente a la lluvia de proyecto.

Dada la incapacidad de la red, se decide por la única solución posible que es la renovación del eje drenante, sustituyendo las secciones circulares por otras de mayor tamaño, a lo largo del eje (conductos 71071, 72965, 965073, 73067, 67076).

4. Eje Santa Creu de Calafell

La situación es similar a la del eje de Viladecans. Los vertidos ocurren en la mayoría de pozos del eje, que discurre bajo la calle Málaga y continúa por la carretera de Santa Creu de Calafell, para situarse paralelo al eje principal de la Riera Roja.

Una primera propuesta de ubicar un depósito en el pozo de mayores vertidos, soluciona la problemática en ese punto pero, independientemente del volumen del depósito o de la restricción a la salida, no aparecen beneficios aguas abajo. Esto indica una clara insuficiencia de la capacidad de desagüe del ramal, tanto para transportar el caudal de sus subcuencas tributarias como el caudal proveniente de aguas arriba.

Se opta por redimensionar nuevos conductos, bajo lámina libre y sección mínima. Dadas las grandes deficiencias a lo largo de todo el eje, la actuación implica la restitución entera del mismo.

5. Otras actuaciones complementarias

Otras actuaciones se dirigen a solventar problemas de recogida de aguas en puntos locales, lejos de plantear la construcción de depósitos de retención o renovación total de ejes drenantes.

Se propone el aumento de la retención superficial en las subcuencas de cabecera. Esto consiste en realizar trabajos sobre la superficie del terreno, en las zonas correspondientes al parque de la Muntanyeta o áreas poco urbanizadas, para elevar el volumen de agua retenida. Se trata de medidas no estructurales que también ayudan a laminar el hidrograma, que aprovechan las mejoras de las condiciones naturales de la cuenca. Físicamente, estas actuaciones pueden consistir en cambios de la topografía natural por terrazas escalonadas, siembra de especies vegetales que incrementan la retención superficial, o el acopio de altura reducida de tierra vegetal en forma de franjas y su siembra para fijar el suelo, en una disposición tal que obligue a realizar al flujo un recorrido más largo.

Estas medidas quedan reflejadas por cambios en los coeficientes de retención, que pasan de ser de 3 mm (propuesta inicial) a 50 mm en las subcuencas 1, 3, 5 y 15; 700 mm en las subcuencas 2 y 4; 40 mm en las subcuencas 6, 7 y 9; 30 mm en la subcuenca 20; y 10 mm en las subcuencas 8 y 108.



Figura 10. Esquema de la red de drenaje de Sant Boi. Cinco depósitos de retención (17, 26, 30, 76 y 4). Ejes principales Sant Ramon – Riera Roja (rojo), Pau Clarís – Balmes – Colón (rosa) y ejes secundarios Viladecans (verde), Calafell (azul) y Asturias (amarillo).

Por otro lado, y dados los persistentes problemas en un pozo al inicio del eje Pau Claris (pozo 12), se decide dividir la cuenca tributaria de este pozo en dos subcuencas, de manera que una de ellas pase a drenar por otro pozo. Ahora la cuenca de la Riera Roja pasa a dividirse en 108 subcuencas.

Finalmente, se proponen algunas medidas puntuales para resolver aquellos pozos en que aún siguen existiendo vertidos para la lluvia de proyecto: se redimensionan algunos conductos en la parte alta del eje Pau Claris; se sustituye la parte final del ramal de la Riera Roja ya que las actuaciones puntuales sólo trasladan el problema a pozos aguas abajo, donde se mantiene el estrechamiento; se redimensiona el ramal que da servicio a las últimas industrias de la calle Riera Roja; y se decide dimensionar un depósito (4) de dimensiones muy reducidas (450 m³ y 300 m² de ocupación en superficie) en el pozo en la zona alta de la calle Sant Ramon.

5.4.2 Diagnósis de la red rehabilitada

La mejora de la capacidad de drenaje de la cuenca de la Riera Roja en Sant Boi, una vez llevadas a cabo las actuaciones anteriormente descritas, es evidente. La modelización en SWMM de la red propuesta (*Anejo 11.4*), sometida a la lluvia de proyecto de 10 años (la misma utilizada en la diagnósis inicial), da como resultado un vertido total de 6 m³ en toda la cuenca, lo que supone menos del 0.1% del total de la lluvia caída. Si se compara con los más de 40000 m³ que se vertían por los pozos para esta misma lluvia de proyecto, antes de la rehabilitación, la mejora es muy importante.

No obstante, cabe remarcar que las actuaciones propuestas tienen por finalidad solventar los problemas de inundación que crea la falta de capacidad de la red, frente a la lluvia de proyecto de periodo de retorno 10 años de bloques alternados, deducida de las curvas IDF del Observatorio Fabra y que, por tanto, se desconoce a priori cuál será la respuesta de la red frente a otro tipo de solicitaciones diferentes de esta lluvia de proyecto. Es decir, no se puede garantizar que al diseñar con esta lluvia de proyecto de 10 años de periodo de retorno, las inundaciones en la Riera Roja vayan a producirse, como media, una vez cada 10 años.

Por este hecho y los motivos expuestos en los *Apartados 2 y 3* se plantea el estudio de la respuesta de la red de drenaje de la Riera Roja mediante técnicas de Monte Carlo en los apartados siguientes, calculando la peligrosidad y la vulnerabilidad para este caso concreto.