

# Modelización Hidráulica del Passeig de Gràcia mediante InfoWorks ICM para la Optimización de la Disposición de Imbornales

*Paloma Batanero Akerman*

*Responsable Soporte y Formación InfoWorks*

*Eduardo Martínez*

*Departamento de Ingeniería Civil: Hidráulica y Energética. Universidad P. de Madrid*

*Ignacio Martínez González*

*Subdirector de Tecnologías de la Información y Comunicación. INECO*

## 1. Introducción

En febrero de 2014, BCASA (Barcelona Cicle de l'Aigua, S.A.) realizó un estudio del drenaje del Passeig de Gràcia de Barcelona mediante el modelo matemático InfoWorks ICM. El objetivo era el análisis de riesgos y la aplicación de medidas correctivas para minimizar estos, con la intensificación del drenaje en puntos estratégicos. Se obtuvieron resultados de afecciones en situación inicial y proyectada.

En este modelo matemático se incluyeron tanto los elementos subterráneos de recogida del agua de lluvia (conductos, pozos y sumideros), como todas las superficies (calzadas, aceras, jardines...) por los que circula la precipitación hasta los imbornales.

La construcción del modelo hidráulico se realizó en las siguientes fases:

- a. Red unidimensional subterránea de tuberías y recogida de pluviales en cubiertas.
- b. Modelo bidimensional de viales, aceras, zonas de jardín y sumideros.
- c. Introducción de la lluvia y condiciones de contorno de la ciudad.

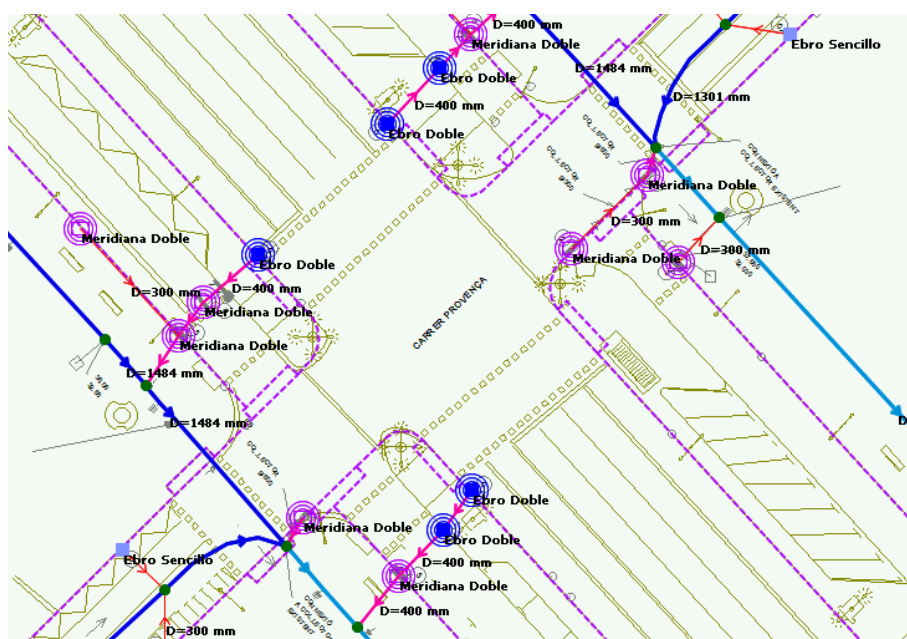
## 2. Modelo Unidimensional

### 2.1. Pozos: Alcantarillas e Imbornales

La situación de las alcantarillas, o nodos tipo *Manhole*, se obtuvo directamente de los planos de AutoCAD de la red de drenaje del Passeig de Gràcia, importando su localización en el modelo matemático InfoWorks ICM. La mayor parte de las alcantarillas contaba con los datos de la cota del terreno (tapa) y de la solera del pozo, incluyéndose como características

de éstos. Los pozos que no contaban con cota del terreno se completaron con las elevaciones del modelo digital del terreno.

Para conseguir un modelo de detalle se incluyeron todos los imbornales de la zona, cada uno con su conexión a la red principal. Los imbornales corresponden en el modelo matemático a un tipo de nodo *Inlet 2D*. Cada imbornal en planta se definió según su tipología y clase de rejilla, considerando los modelos Ebro, Meridiana y Barcelona P7:



**Figura 1.** Cruce con el Carrer Provença en el que se puede apreciar diversos tipos de imbornales



**Figura 2.** Tipología de rejillas consideradas: modelo Ebro, meridiana y Barcelona P7

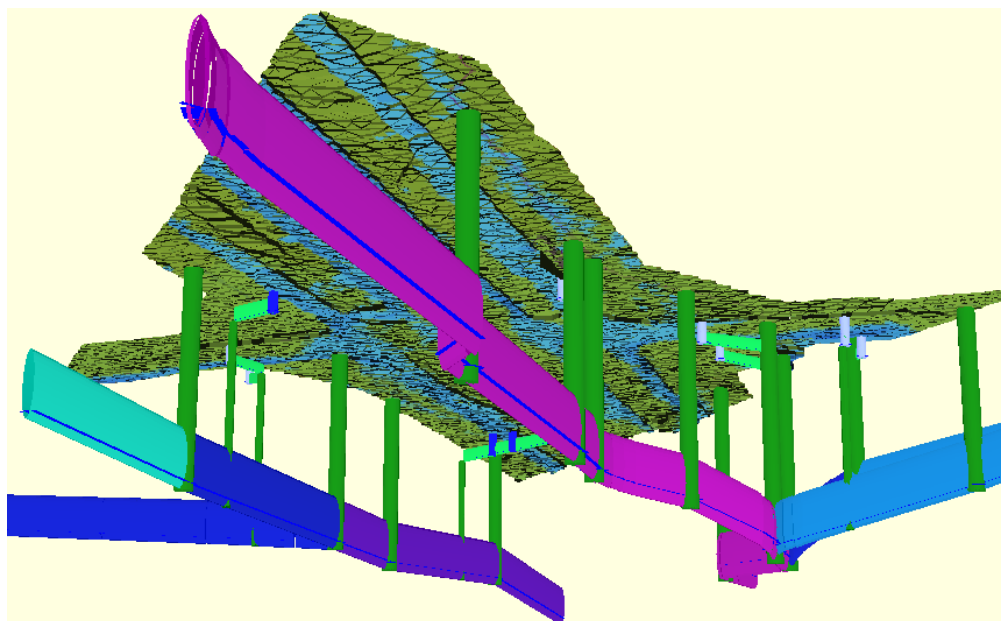
Las variables que emplea el software para calcular el intercambio de caudales entre los imbornales y la malla bidimensional se superficie se introducen en las *Propiedades del Nodo*. En este caso se empleó el método **UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) Grate Inlet**, diferenciando entre rejillas tipo: BCN P7 Sencillo y Doble, Ebro Sencillo y Doble, Meridiana Sencillo y Doble.

## 2.2. Tuberías

Las trazas de conducciones principales (paralelas a los viales) se importaron desde los planos de planta dentro del modelo de InfoWorks, asignándoles los diámetros, cotas de superficie y

fondos de pozos establecidos en éstos. Aquellos datos de soleras de tuberías que no estaban especificados se interpolaron uniendo la cotas de soleras de que sí se disponía.

Los entronques de imbornales a los colectores principales tenían diámetros de 300 ó 500 mm, con pendiente 0.2% . Cuando no se tenía este dato, se dispuso diámetro de 300 mm para imbornales sencillos y de 400 mm para los dobles. En las simulaciones realizadas se comprueba que no quedan llenos en ningún caso, ni limitan la capacidad de recogida de los imbornales.



**Figura 3.** Vista 3D de un fragmento del modelo con el modelo subterráneo de tuberías y la superficie de las calles como malla bidimensional asociada

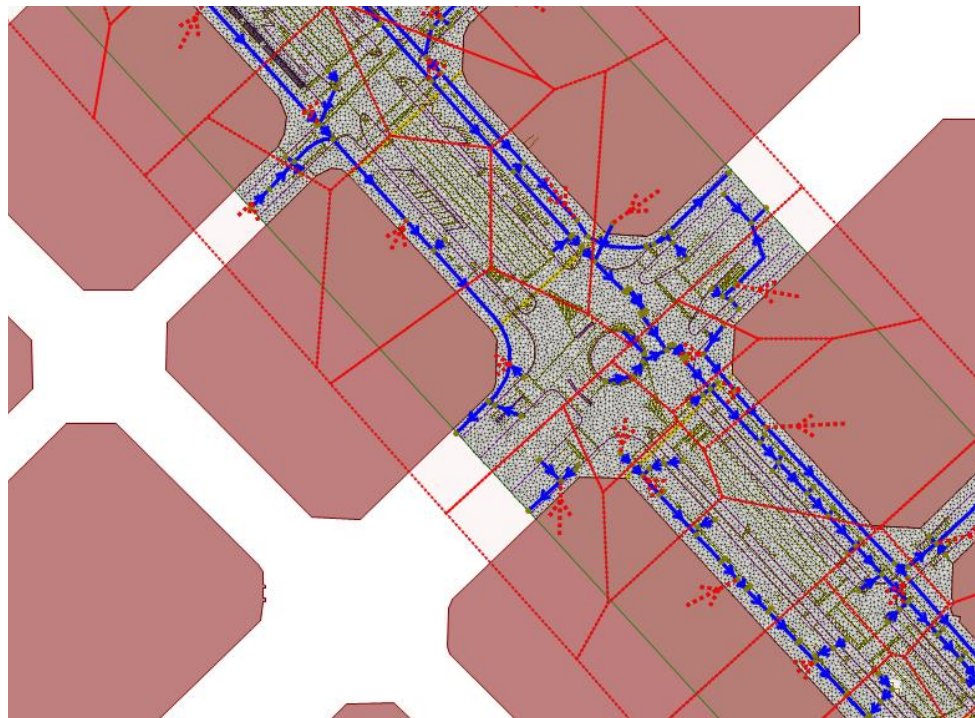
### 2.3. Subcuencas superficiales de drenaje de manzanas

El agua caída sobre las manzanas de edificios se ha incorporado en el modelo a partir de *Subcuencas 1D*. Para facilitar su definición automática en el modelo hidráulico, se dibujó un polígono algo mayor que la zona considerada, incluyendo la mitad de cada manzana lateral del Passeig, pues cada mitad drena a la calle más cercana. Se determinaron aquellas alcantarillas susceptibles de interceptar las bajantes de pluviales de cada edificio, y a falta de datos concretos, se realizó una división mediante polígonos de Thiessen para obtener las subcuencas.

Posteriormente se definieron las superficies aportantes de cada *Subcuenca*, dependiendo del área de manzana encerrada dentro de ella. De esta forma se mantienen las longitudes de tránsito desde el centro de gravedad de cada cubierta, pero sin considerar el agua que cae sobre las calles, que se incorpora a la *Zona bidimensional* de los viales.

El coeficiente de escorrentía de las cubiertas se supuso fijo e igual a 1, a fin de estar del lado de la seguridad (100% de recogida de pluviales, sin pérdidas en los tejados).

En la planta adjunta se puede apreciar parte de la división en subcuencas del modelo:



*Figura 4. Planta de subcuencas 1D de drenaje consideradas en un fragmento del modelo*

### 3. Modelo Bidimensional Superficial

#### 3.1. Modelo digital del terreno

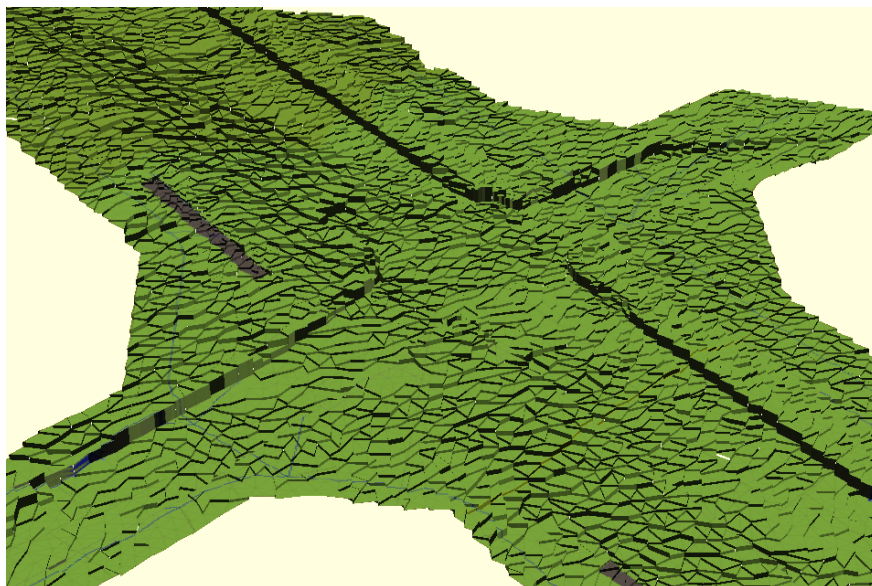
Para la construcción del modelo digital del terreno se partió de los datos taquimétricos (nubes de puntos y líneas de nivel) de las dos situaciones analizadas (Inicial y Futura), además de completar los bordes con datos del GRID de elevaciones de la ciudad de Barcelona obtenidos de la Generalitat de Catalunya. Los dos TIN obtenidos se montaron en InfoWorks ICM en ED50, coordenadas UTM Huso 31N.

#### 3.2. Mallado 2D de superficie de viales

Se dispuso un mallado bidimensional sobre toda la superficie de los viales. No se ha empleado el mallado sobre los edificios pues no se contaba con un modelo digital del terreno suficientemente preciso de los tejados y patios de manzana. Estos se excluyeron del mallado con una serie de polígonos que representan *VOIDS* (zonas sin mallado).

La lluvia cae en cada momento de la simulación en los elementos triangulares de la malla y su movimiento a los elementos contiguos se determina resolviendo las ecuaciones del flujo poco profundo (Alcrudo, F. and Mulet-Martí, J., 2005).

La extensión de la Zona 2D empleada es de 26.9 ha (aprox. 1700 x 160 m). Se dispuso algo más larga y ancha que la extensión estricta del Passeig de Gràcia a fin de que los resultados fueran de mayor calidad y no se vieran afectados por curvas de remanso de la salida del modelo.



*Figura 5. Vista en 3D de uno de los cruces de calles: mallado bidimensional*

Se consideró una rugosidad de Manning de 0.015 en las superficies pavimentadas, y de 0.045 en zonas verdes. En éstas también se ha definido un tipo de infiltración adaptado, tipo Horton para caracterizar la variación de la infiltración con el tiempo. Sólo se han tenido en cuenta las zonas amplias, de más de 10 m<sup>2</sup> de superficie, no considerándose los alcorques, al ser de tierra compactada con características de infiltración muy similares a las del pavimento. Dado que el pavimento es una mezcla de zonas soladas y firmes bituminosos, se tomó un coeficiente de escorrentía común para todas estas, de 0.95.

Se definió un tamaño de elementos de la malla entre 0.25 y 2 m<sup>2</sup>. También se incluyeron Líneas de Rotura, o líneas directoras del mallado para asegurarse de que los triángulos se adaptaban a los contornos de aceras, cambios de pendientes, etc.

#### **4. Condiciones de contorno empleadas**

Una de las claves para obtener un modelo hidráulico preciso, y tras haber incluido todos los elementos geométricos que lo definen, corresponde a la correcta definición de las

condiciones de contorno. La situación óptima es aquella en la que se puede cortar el modelo por una línea en la que ya no se presenten afecciones, como serían divisorias naturales en el caso de cuencas superficiales o límites hidráulicos en el caso de redes de saneamiento (Gutierrez, J, 2008).

En este caso, el Passeig de Gràcia se encuentra embebido en el sistema de drenaje de la ciudad de Barcelona, siendo afectado el flujo de los colectores modelizados por los emisarios que lo cruzan, el drenaje o vaciado de los mismos por los niveles alcanzados en los registros aguas abajo y la escorrentía superficial por otros caudales que provengan de zonas más altas o limitados por la inundación en cotas menores.

### 4.1. Datos pluviométricos

Se consideró una lluvia en pico de 10 años de período de retorno de 1 h 10' de duración, con la forma del gráfico adjunto (bloques de 5 minutos) e intensidad máxima 183mm/h.

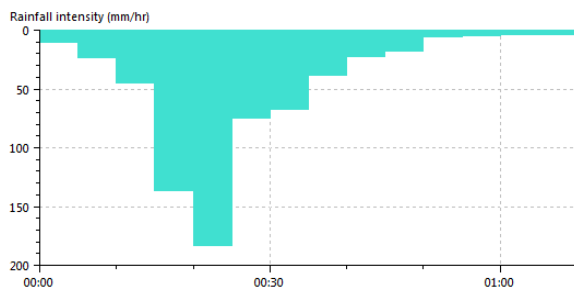
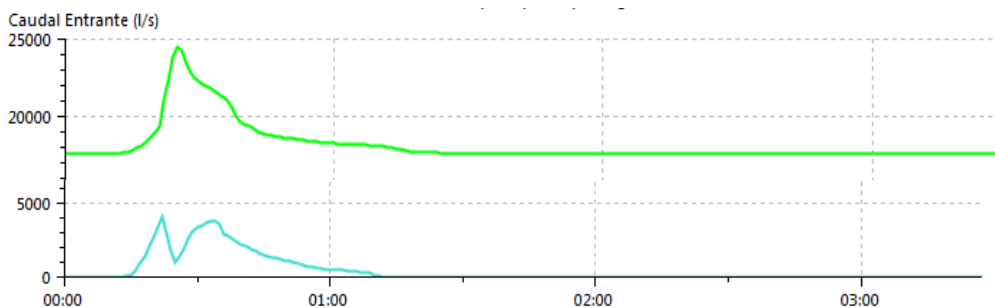


Figura 6. Lluvia considerada en las simulaciones T= 10 años

### 4.2. Datos de caudales de emisarios principales

Como condición de contorno adicional, se consideraron 2 puntos de entrada de caudales al sistema, en los colectores que llegan por el Carrer d’Aragó y Ronda de Sant Pere, siendo sus hidrogramas los siguientes (manteniéndose constante el valor mínimo hasta el final de la simulación):



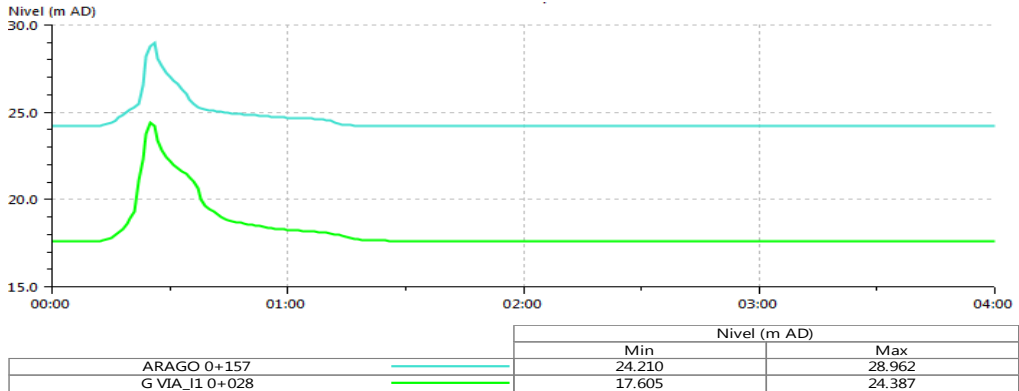
	Caudal Entrante (l/s)		
	Min	Max	Volume (m3)
ARAGO 0+000	0.000	4098.123	5474.974
RONDA S PERE1 0+000	17605.000	24491.470	226785.778

Figura 7. Caudales de entrada por los colectores de Carrer d’Aragó y Ronda de Sant Pere



### 4.3. Niveles de inundación en emisarios aguas abajo

También se tuvieron en cuenta los niveles de inundación en las salidas hacia los colectores principales a los que drena el modelo, en el Carrer D'Aragó y Gran Vía:



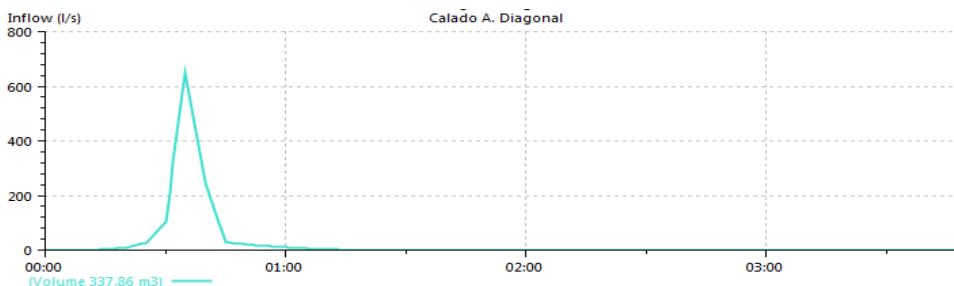
**Figura 8.** Niveles considerados en puntos de salida del modelo a las calles Aragó y Gran Vía

### 4.4. Flujos superficiales aguas arriba del modelo

Se incluyó también, como condición de contorno en la Avinguda Diagonal el flujo de agua superficial que discurriría a lo largo de ella en caso de precipitación. Su situación e hidrograma se pueden ver en las imágenes adjuntas, siendo equivalente a un calado de entre 1 y 4 cm en pico durante la duración de la lluvia, aunque algo retrasado teniendo en cuenta la longitud de tránsito:



**Figura 9.** Situación del caudal superficial de condición de contorno que llega por la A. Diagonal



**Figura 10.** Caudal que llega en superficie por el contorno de la A. Diagonal

## 4.5. Condiciones de salida de la malla bidimensional

El agua abandona el modelo con la pendiente de energía del terreno, *Normal Condition*. Sólo se ha establecido una parte en el inicio de la Avinguda Diagonal para que el agua que llega por esta arteria no se escape del modelo, en la valla de los jardines del Palau Robert.

## 5. Resultados obtenidos

A continuación se incluyen varias plantas en las que se puede ver la inundación máxima de las calles y los caudales que llevan las tuberías, con indicación de la leyenda de colores de caudales y calados, tanto en la situación inicial como en la futura. También se incluye detalle de la dirección de los flujos superficiales en el momento de mayor intensidad de la lluvia en algunos cruces.

En Situación Futura, además de cambiar la urbanización del Passèig, se sustituyeron las rejillas tipo Ebro por el modelo Barcelona P7, optimizándose la colocación de los sumideros para minimizar el flujo superficial en aceras y viales.

Se aprecia que discurre menos flujo en superficie y más por los colectores subterráneos, mejorándose el comportamiento del drenaje superficial. Para facilitar la cuantificación de los resultados, se han incluido una serie de líneas de resultados, aguas abajo de cada cruce, a fin de comprobar la disminución de los caudales que cruzan en superficie.

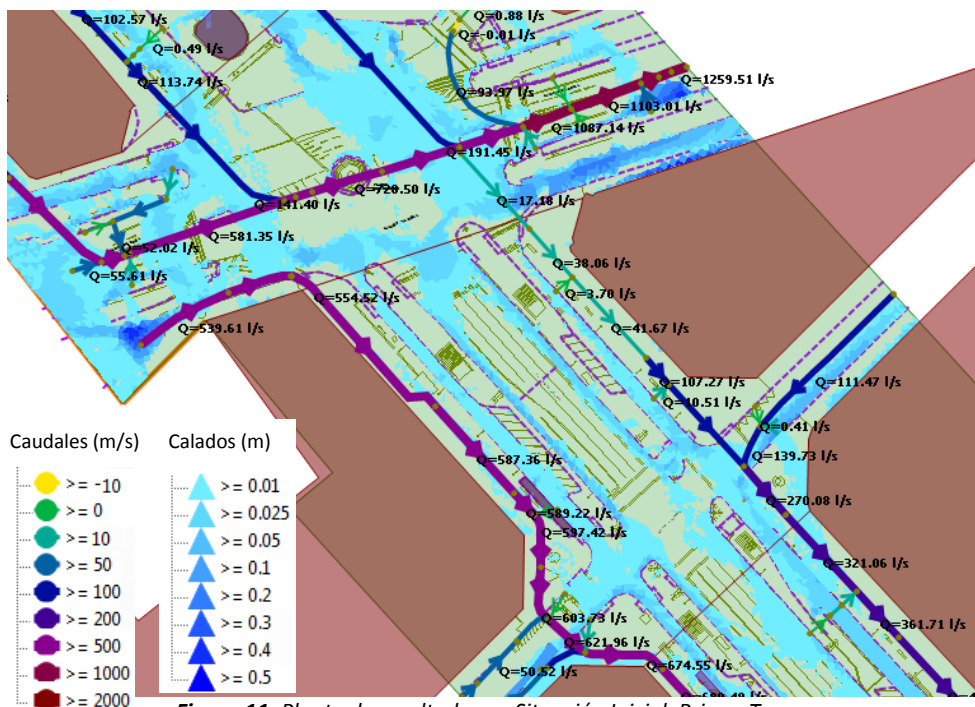


Figura 11. Planta de resultados en Situación Inicial. Primer Tramo



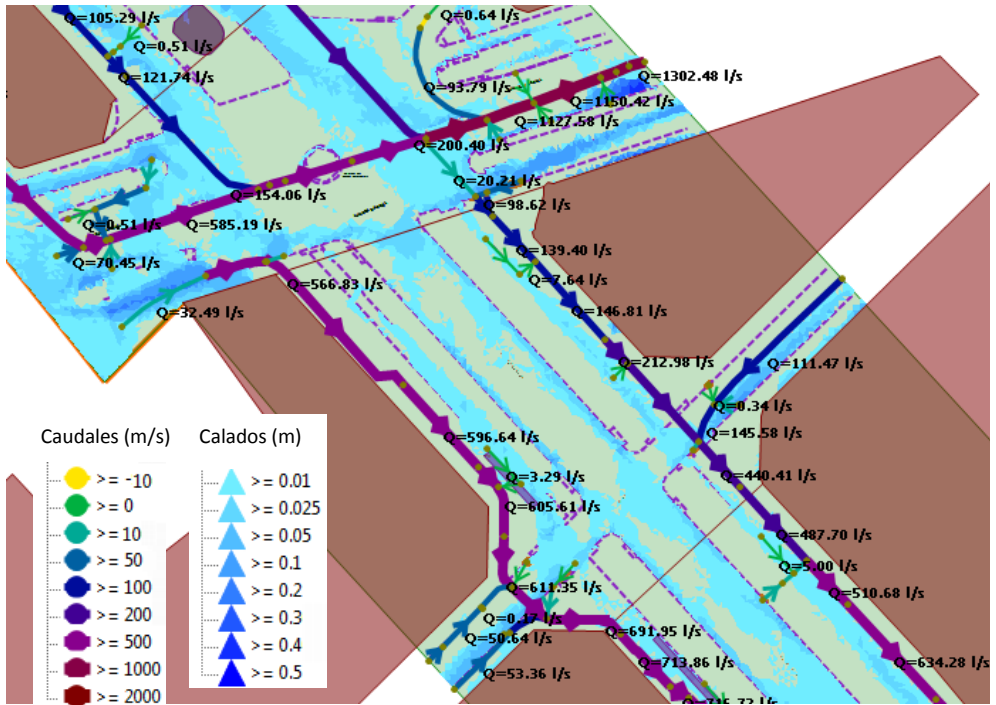


Figura 12. Planta de resultados en Situación Final. Primer Tramo

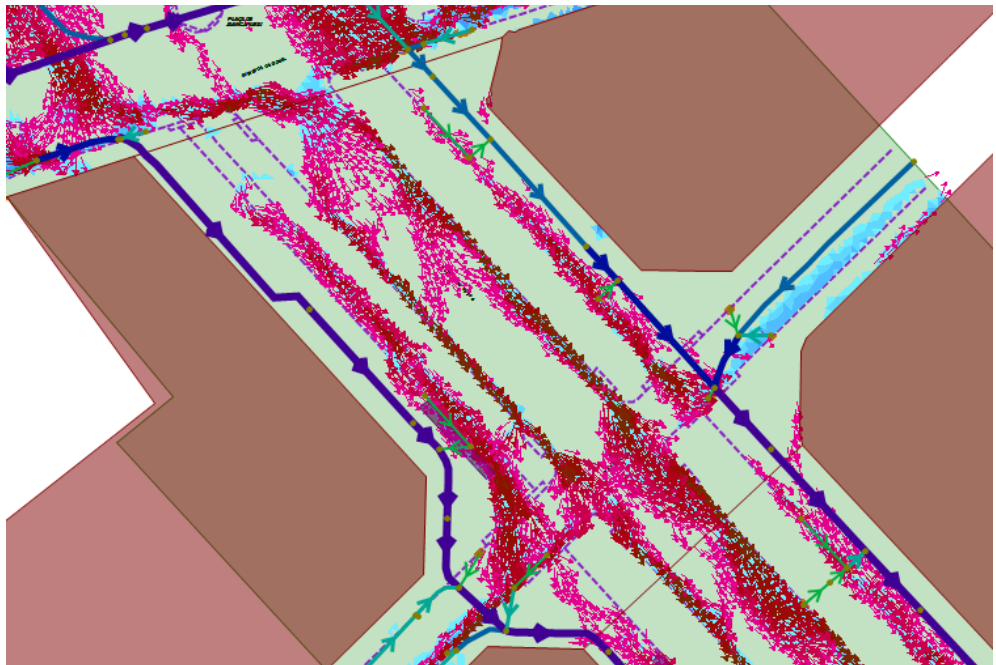


Figura 13. Detalle de vectores velocidad del flujo en Situación Final

La comparación de resultados en las secciones de control en las intersecciones es la de la tabla adjunta:

Sección	Q máx. (l/s) Sit. Inicial	Q máx. (l/s) Sit. Futura	Vol. tot. (m <sup>3</sup> ) Sit. Inicial	Vol. tot. (m <sup>3</sup> ) Sit. Futura	V máx. (m/s) Sit. Inicial	V máx. (m/s) Sit. Futura	H max. (m) Sit. Inicial	H max. (m) Sit. Futura
P Gràcia-Diagonal	126	96	125	96	0.499	0.303	0.048	0.052
P Gràcia-Roselló	379	213	379	213	1.18	0.899	0.042	0.033
P Gràcia-Provença	487	265	487	265	1.11	0.853	0.045	0.029
P Gràcia-Mallorca	438	269	438	269	1.079	0.656	0.049	0.03
P Gràcia-Valencia	407	230	407	230	1.03	0.608	0.051	0.044
P Gràcia-Aragó	392	318	391	317	1.037	0.809	0.125	0.085
P Gràcia-Consell	320	226	320	226	0.818	0.593	0.033	0.027
P Gràcia-Diputació	351	375	350	375	1.021	0.751	0.045	0.059
P Gràcia-G. Vía	867	793	827	792	1.706	0.986	0.13	0.127

**Tabla 1.** Comparación numérica de resultados en Situación Inicial y Final

## Agradecimientos

Este modelo ha sido posible gracias a la ejecución del proyecto realizado por el Ajuntament de Barcelona de “Trabajos de Reurbanización del Passèig de Gràcia, entre la Avinguda Diagonal y la Ronda Sant Pere”, que incluye mejoras sustanciales en la red de alcantarillado, ejecutado entre 2014 y principios de 2015.

## Referencias

Gómez, M. y Russo, B., 2011. *Methodology to estimate hydraulic efficiency of drain inlets* Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management 2011 Volume 164 (2) Pages 81-90.

Alcrudo, F. and Mulet-Martí, J., 2005. *Urban inundation models based on the Shallow Water equations. Numerical and practical issues.* Proceedings of Finite Volumes for Complex Applications IV. Problems and Perspectives. Pages 1-12. Editado por F. Benkhaldoun, D. Ouazar, S. Raghay. Hermes Science Pub.

Gutierrez, J., 2008. *Testing and application of a practical new 2D hydrodynamic.* Flood Risk 2008 Conference, Oxford, 30th September- 2nd October.