

# **Anàlisi cost-benefici per la implementació de Sistemes Urbans de Drenatge Sostenible (SUDS) al municipi de La Garriga**

**Estudiant:** Meritxell Tañà Fornés

**Grau** en Ciències Ambientals

**Correu electrònic:** llectirem77@hotmail.com

**Tutor:** Ignasi Rodriguez-Roda Layret

**Cotutor:** Lluís Corominas Tabares

**Empresa / institució:** ICRA (Institut Català de Recerca de l'Aigua)

Vistiplau tutor i cotutor:



Nom del tutor: Ignasi Rodriguez-Roda Layret

Nom del cotutor: Lluís Corominas Tabares

Empresa / institució: ICRA (Institut Català de Recerca de l'Aigua)

Correu(s) electrònic(s): ignasi.rodriguezroda@udg.edu

lcorominas@icra.cat

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació:

# ÍNDIX

Resum.....	3
1. Introducció.....	6
1.1. Sistemes de sanejament i el rol dels col·lectors.....	6
1.2. Elements d'un sistema de drenatge urbà.....	7
1.3. Directiva Marc de l'aigua.....	8
1.4. Descripció de la problemàtica actual.....	8
1.5. Sistemes Urbans de Drenatge Sostenible.....	9
1.5.1. Tipologies de SUDS.....	10
1.6. Dipòsits de retenció d'aigües pluvials o tancs de tempesta.....	13
2. Objectius.....	14
3. Materials i mètodes.....	15
3.1. Descripció zona d'estudi.....	15
3.1.1. Règim hídric de La Garriga.....	15
3.1.2. Sistema de drenatge de La Garriga.....	15
3.2. Institut für technisch-wissenschaftliche Hyrdologie GmbH (ITWH): HYSTEM EXTRAN i KOSIM.....	17
3.3. Metodologia de simulació.....	18
3.3.1. Disseny amb KOSIM del model del sistema de drenatge de La Garriga.....	18
3.3.2. Selecció dels SUDS a La Garriga.....	19
3.3.3. Disseny dels SUDS.....	20
3.3.4. Implantació dels SUDS.....	21
3.3.5. Paràmetres analitzats pels SUDS.....	22
3.3.6. Construcció d'un dipòsit de retenció d'aigües pluvials o tanc de tempesta.....	23
3.3.7. Escenaris combinats d'implementació de SUDS i construcció de dipòsits de retenció.....	23
3.3.8. Paràmetres analitzats per seleccionar l'àrea de construcció dels dipòsits de retenció d'aigües pluvials complementats per SUDS.....	24

---

4. Resultats i discussió.....	25
4.1. Cabal d'entrada del col·lector a SK2 (m <sup>3</sup> /s).....	25
4.2. <i>VQr</i> o el volum d'escorrentia superficial.....	27
4.3. <i>n,ue, d</i> o nombre de dies amb sobreiximent i <i>T,ue</i> o nombre real de sobreiximents.....	28
4.4. <i>VQue</i> o volum total de sobreiximent.....	30
4.5. Pressupost per la implementació de SUDS i de dipòsits de retenció d'aigües pluvials.....	33
5. Conclusions.....	34
6. Referències bibliogràfiques.....	35

## RESUM

Actualment gran part dels sistemes de col·lectors de les ciutats catalanes són sistemes unitaris és a dir, condueixen a les estacions depuradores d'aigües residuals (EDARs) tant les aigües urbanes com les aigües pluvials en una única xarxa. Aquests sistemes, tenen associada una problemàtica que s'amplifica quan és un sistema de col·lectors vells com és el cas de La Garriga. Durant els episodis de pluja i quan la capacitat dels col·lectors s'excedeix, es produeixen vessaments d'aigües residuals cap el medi natural (els rius) sense rebre cap tractament previ, provocant que les aigües del riu estiguin augmentant la concentració de nutrients, metalls pesants, i altres compostos que l'impacten de forma negativa. Una forma de reduir i/o evitar aquets vessaments d'aigua residual és la implantació de Sistemes Sostenibles de Drenatge Urbà (SUDS) amb l'objectiu de maximitzar la infiltració de les aigües cap al subsòl per retornar-la al seu cicle natural, reduir la quantitat d'aigua que entra als col·lectors, minimitzar les inundacions i conseqüentment els danys provocats per aquestes en les zones urbanes. Aquests si es complementen amb dipòsits de retenció d'aigües pluvials o tancs de tempesta poden ajudar a optimitzar els resultats relacionats amb el nombre i volum de sobreiximent i atenuar els pics de cabal que es creen quan hi ha episodis de pluja presents.

En aquest treball de final de grau s'han proposat quatre possibles models amb SUDS complementats amb dipòsits de retenció d'aigües pluvials per tal d'avaluar l'eficiència de cada un d'ells vers el modela actual. S'ha partit d'un model calibrat del sistema de drenatge de La Garriga que es va desenvolupar a l'ICRA (Institut Català de Recerca de l'Aigua) amb el programa SWMM (Storm Water Management Model) a l'any 2014 dins el marc del projecte ENDERUS. Posteriorment, aquestes han estat traspassades al programa KOSIM de l'empresa Institut für technische-wissenschaftliche Hydrologie GmbH (Itwh) d'Alemanya, per construir els quatre models diferents i fer córrer les simulacions necessàries per quantificar i avaluar tots els paràmetres relacionats amb els sobreiximents i l'escorrentia superficial.

La part final de l'estudi s'ha basat en seleccionar el model que presenta percentatges de millora més elevats, valors de fins el 40% de reducció en el volum i nombre de sobreiximents i reduccions de l'orde de 0,5m<sup>3</sup>/s en els pics de cabal. Per posteriorment realitzar un pressupost econòmic aproximat del que suposaria implantar aquest model amb un 20% de SUDS en cada una de les àrees i construir-hi dos tancs de tempesta de 1500m<sup>3</sup> cada un, per tal de donar un valor aproximat de la inversió que li suposaria al municipi de La Garriga.

## RESUMEN

Actualmente gran parte de los sistemas de colectores de las ciudades catalanas son sistemas unitarios es decir, conducen a las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) tanto las aguas urbanas como las aguas pluviales en una única red. Estos sistemas, tienen asociada una problemática que se amplifica cuando es un sistema de colectores viejos, como es el caso de La Garriga. Durante los episodios de lluvia y cuando la capacidad de los colectores se excede, se producen derrames de aguas residuales hacia al medio natural (los ríos) sin recibir ningún tratamiento previo, provocando un aumento de la concentración de nutrientes, metales pesados, y otros compuestos que impactan de forma negativa en las aguas de los ríos. Una forma de reducir y/o evitar estos derrames de agua residual es la implantación de Sistemas Sostenibles de Drenaje Urbano (SUDS) con el objetivo de maximizar la infiltración de las aguas hacia el subsuelo para devolverla a su ciclo natural, reducir la cantidad de agua que entra en los colectores, minimizar las inundaciones y consecuentemente los daños provocados por estos en las zonas urbanas. Si estos se complementan con depósitos de retención de aguas pluviales o tanques de tormenta pueden ayudar a optimizar los resultados relacionados con el número y volumen de desbordamientos y atenuar los picos de caudal que se crean cuando hay episodios de lluvia.

En este trabajo de final de grado se han propuesto cuatro posibles modelos con SUDS complementados con depósitos de retención de aguas pluviales para evaluar la eficiencia de cada uno de ellos respecto al modelo actual. Se ha partido de un modelo calibrado del sistema de drenaje de La Garriga que se desarrolló en el ICRA (Institut Català de Recerca d l'Aigua) con el programa SWMM (Storm Water Management Model) en el año 2014 dentro del marco del proyecto ENDERUS. Posteriormente, estas han sido traspasadas al programa KOSIM de la empresa Institut für technische-wissenschaftliche Hydrologie GmbH (Itwh) de Alemania, para construir los cuatro modelos diferentes y hacer correr las simulaciones necesarias para cuantificar y evaluar todos los parámetros relacionados con los desbordamientos y la escorrentía superficial.

La parte final del estudio se ha basado en seleccionar el escenario que presenta porcentajes de mejora más elevados, valores de hasta el 40% de reducción en el volumen y número de desbordamientos y reducciones del orden de  $0,5\text{m}^3/\text{s}$  en los picos de caudal. Para posteriormente realizar un presupuesto económico aproximado (10.905.750€) del cual supondría implantar este escenario con un 20% de SUDS en cada una de las áreas y construir dos tanques de tormenta de  $1500\text{m}^3$  cada uno, para dar un valor aproximado de la inversión que le supondría al municipio de La Garriga.

**ABSTRACT**

Nowadays a large part of Catalonia's sewer systems are combined sewer systems, which means that they are deriving the rain water and the wastewater together into the Wastewater Treatment Plants (WWTP). These systems were considered as problematical, furthermore if the city has an old sewer system like La Garriga. During heavy rainfall events when the conduits' capacity is reached, there is a wastewater outfall through the outlets. The polluted water flows directly into the river. This causes high contamination with heavy metals, nutrients, pesticides and other compounds which became a negative impact for the environment. One way to achieve the reduction or to avoid these wastewater outfalls is to implement Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) with the aims to maximize the infiltration of the ground water to recycle it into the natural water cycle, to reduce the volume of water which flows into the conduits, to minimize the urban flooding and reduce the urban damages consequently. If we complement SUDS with storm tanks we can achieve better results related with the number and the volume of outfalls and attenuate the flow peaks created for the rain events.

The purpose of this final work is creating or designing four possible scenarios with SUDS complemented with storm tanks for evaluate the efficiency of the scenarios on the current model. We started the project ENDERUS in 2014 with a calibrate model of La Garriga's sewer system developed in ICRA (Institut Català de Recerca de l'Aigua) with the SWMM program (Storm Water Management Model). Subsequently, the dates are transferring into KOSIM, which is a software for continuously simulation, by Institut für technische-wissenschaftliche Hydrologie GmbH (Itwh) from Germany to built this four scenarios and run simulations to quantify and evaluate all the parameters related with outfalls and runoff-models of La Garriga.

The last part of this study is selecting the best scenario, which presents the best percentages, values until 40% of reduction in the volume and number of outfalls, the peak of the flows increase  $0.5\text{m}^3/\text{s}$ , and other improvements we will obtain if we choose this scenario. Finally, we made out an approximated budget (10.905.750€) for the implementation of 20% of SUDS in each area and built two storm tanks with  $1500\text{m}^3$  of volume, to give a approximate inversion for the city of La Garriga.

## 1. Introducció

### 1.1. Sistemes de sanejament i el rol dels col·lectors

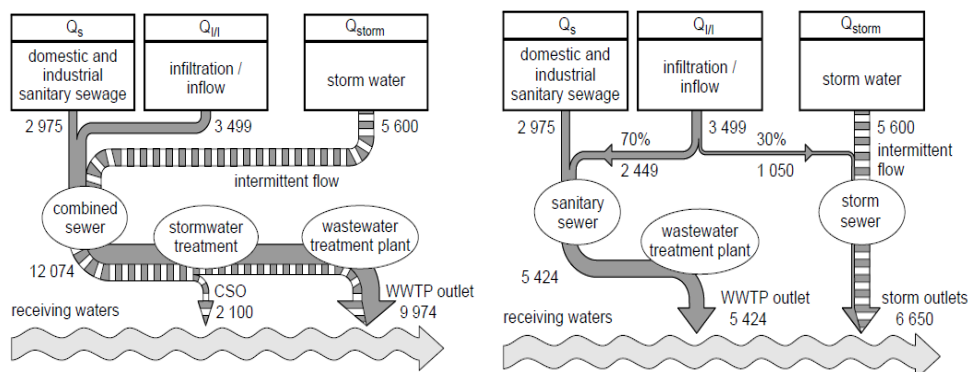
Els sistemes de sanejament dels nuclis urbans estan formats per un conjunt de canonades (col·lectors) que transporten les aigües residuals de les cases i indústries fins a les Estacions Depuradores d'Aigües Residuals (EDAR) més properes per tal que les aigües puguin ser tractades i retornades al medi ambient (rius, llacs, mars) sense perill que aquestes el puguin malmetre.

Els sistemes de col·lectors unitaris (els més habituals fins a l'actualitat) no només transporten les aigües residuals sinó que també permeten l'entrada de les aigües d'escorrentia generades en episodis de pluja.

Hi ha dos tipologies de xarxes de col·lectors, les xarxes unitàries i les xarxes separatives (Fig. 1).

Les xarxes de col·lectors separatives es componen de dues xarxes paral·leles, una per aigües pluvials que aboca directament al riu (en alguns casos rebent un tractament senzill), i l'altre que condueix les aigües residuals a la EDAR abans que siguin retornades al medi.

Les xarxes unitàries en canvi, conformen una única xarxa de col·lectors que transporta les aigües pluvials i les residuals fins a les EDARs. En temps sec, transporten només aigües residuals. En canvi, durant alguns episodis de pluja els cabals augmenten notablement (degut a l'entrada d'aigües pluvials) i essent la capacitat del sistema de sanejament limitada (la EDAR no pot tractar el gran volum d'aigua i el col·lector no té prou capacitat per guardar-la), es poden produir fenòmens de sobreiximent de la mescla d'aigua residual i de pluja cap al riu a través de les estructures conegudes com a "sobreixidors" sense cap tractament previ, provocant la contaminació d'aquest medi receptor (EPA, 1999).



**Fig 1.** Exemples de sistema unitari (a l'esquerra) i sistema separatiu (dreta). *WWTP*: Wastewater Treatment Plant (EDAR), *CSO*: Combined sewer overflows (sobreiximents). Font: Butler D., et al. 2000.

## 1.2. Elements d'un sistema de drenatge urbà

Per la xarxa de col·lectors d'una ciutat hi circulen dos tipus d'afluents: les aigües residuals, tant domèstiques com industrials, i les aigües pluvials. Aquestes presenten diferents tipus de cabal, per les aigües residuals és més o menys constant durant tot l'any i relativament fàcil d'estimar amb la densitat de població i dades sobre l'activitat industrial de la zona, s'anomena cabal en temps sec. Per contra, els cabals de pluvials són discontinus, només apareixen en episodis de pluja on poden passar de  $0\text{m}^3/\text{s}$  a valors de  $1\text{-}2\text{m}^3/\text{s}$  en pocs minuts.

Tots els sistemes de drenatge urbà es componen per varis elements (Fig. 2), però principalment per dos (Fuchs L. 2008):

- *Col·lectors*: són canonades de major secció, sovint visitables, que recullen les aigües de les canonades secundàries i les condueixen als col·lectors principals. Se situen enterrats, sota les vies públiques.

Tots els sistemes de drenatge urbà presenten dos tipus de xarxes de col·lectors. La xarxa en alta, que són el conjunt de col·lectors en alta, estacions de bombament i elements auxiliars que connecten les xarxes de clavegueram col·lectives per conduir directament (per gravetat o bombament) les aigües residuals recollides de els cases, comerços, indústries,... fins a la EDAR i d'aquesta al medi receptor.

I la xarxa en baixa, que engloba tot el conjunt de béns de domini públic que formen la xarxa de clavegueram municipal i totes les instal·lacions relacionades amb aquesta.

- *Sobreeixidors*: són elements molt importants dins dels sistemes unitaris (aigua de pluja i aigua residual circulen juntament). Tenen com a objectiu evitar que els col·lectors entrin en càrrega, és a dir que quan hi ha episodis de pluja que superen el límit de volum que poden suportar els col·lectors, aquets necessiten punts d'alliberament d'aqueta aigua, els sobreeixidors, si no fos així la pressió a l'interior podria arribar a ser tant elevada que rebentarien. Però tenen una forta problemàtica associada ja que, aquesta aigua que alliberen va a parar directament al medi receptor sense haver estat depurada prèviament i el contamina.

A més dels sobreeixidors i els col·lectors, també es compon per altres elements complementaris:

- *Escomeses*: conjunt d'elements (arqueta, clavegueró i estroncament) que permeten incorporar a la xarxa les aigües residuals abocades per un edifici.



- *Pous d'inspecció*: cambres verticals les quals permeten l'accés a les clavegueres i col·lectors, per facilitar el seu manteniment.

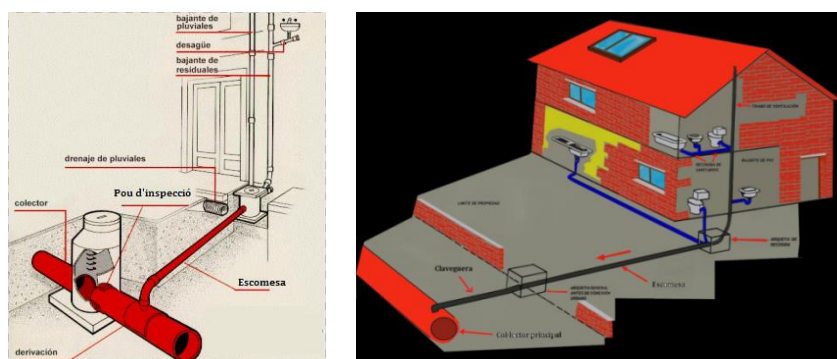


Fig 2. Elements d'un sistema de drenatge urbà. Font: Carratalà J, et al 2012

### 1.3. Directiva Marc de l'aigua

L'aigua és un bé comú i imprescindible per l'home. La seva demanda ha estat exigida per qualsevol ésser humà des de sempre, però durant aquestes últimes dècades ha anat en augment. Conseqüentment, ha aparegut una elevada preocupació per mantenir en bon estat qualsevol sistema aquàtic.

Davant d'aquest fet, la Comissió Europea va decidir convertir la protecció de les aigües en una de les seves prioritats, per això l'any 2000 va crear la Directiva Marc de l'Aigua (Water Frame Directive, WFD) a través de la qual, va establir els objectius per la protecció de l'aigua, limitant certs paràmetres que contribueixen en la seva contaminació.

Un dels àmbits que actualment s'està potenciant són els sistemes de drenatge de les aigües urbanes. La WDF va crear la directiva Urban Waste Water Treatment Directive (UWWTD) encarregada de redactar les normatives europees que engloben des de la recollida de les aigües residuals urbanes al clavegueram fins al seu tractament a les EDARs, tenint en compte tot el seu recorregut.

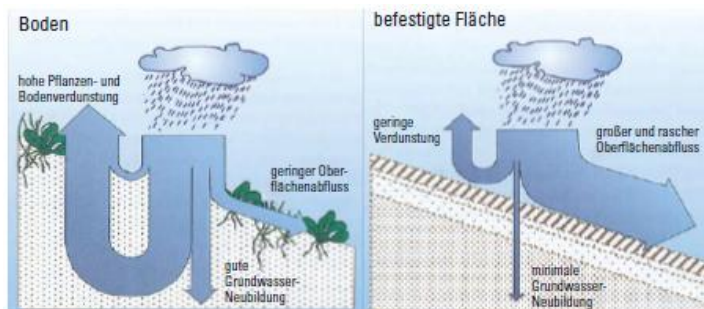
Espanya, com a membre de la Unió Europea va redactar el Reial Decret 1290/2012, aprovat al 7 de Setembre del 2012 pel Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient amb l'objectiu d'actualitzar les lleis espanyoles que regulen la contaminació causada pels vessaments dels sobreeixidors, lleis que fins llavors eren poc clares.

### 1.4. Descripció de la problemàtica actual

A causa de l'expansió immobiliària, la ràpida industrialització i l'elevada demanda de la població per con-nectar-se entre ciutats, els espais i/o àrees verds de les zones urbanes estan desapareixent successivament passant a ser zones pavimentades. Aquestes, quan hi

ha precipitacions, eviten la infiltració de l'aigua al subsòl, i l'aigua d'escorrentia entra a les xarxes unitàries i va a parar a la EDAR. Això provoca que el sistema de sanejament estigui al límit de la capacitat hidràulica i s'observa un augment en el nombre de sobreiximents cap al medi receptor. Per altra banda, la infraestructura de la qual disposem actualment, va ser dissenyada i construïda fa més de 20 anys i a part d'estar envellint, el creixement de la població i de les activitats industrials ha fet que estiguin al límit de la seva capacitat. Tot plegat posa en perill el bon estat químic i ecològic del medi receptor, no només en temps sec, sinó en temps de pluja, ja que l'aigua sobreixida porta associada càrregues de contaminants que s'aboquen el riu sense tractament (Butler D., et al). (Fig. 3)

Conseqüentment, s'han buscat noves solucions per reduir i/o evitar aquests vessaments i inundacions: per una banda els tancs de tempesta, que acumulen l'aigua de la pluja per reduir els volums de sobreiximent i atenuar els pics de cabal. I per l'altre, els Sistemes Urbans de Drenatge Sostenible (SUDS) que tenen el propòsit de maximitzant la infiltració de les aigües cap al subsòl i minimitzant la quantitat d'aigua que entra als col·lectors a través de la implementació d'espais i zones verdes.



**Fig.3.** Recursos hídrics abans i després del desenvolupament urbà. Sòl permeable (*Boden*): elevada infiltració i evaporació i baixa escorrentia superficial. Sòl impermeable urbà (*Befestigte Fläche*): elevada escorrentia superficial i baixa infiltració i evaporació. (Font: *Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt*)

El cas d'estudi es centre en el sistema de sanejament del municipi de La Garriga, el qual va ser construït l'any 1992 i després del creixement de la població i la connexió de les indústries està arribant a la seva màxima capacitat. L'agència de l'aigua encarregada de la gestió i el manteniment del sistema d'aigües residuals urbanes està buscant solucions a curt/llarg termini atès que, percep una futura problemàtica de més alt nivell vers aquest sistema de sanejament.

### 1.5. Sistemes Urbans de Drenatge Sostenible

Els Sistemes Urbans de Drenatge Sostenible o SUDS són una seqüència de pràctiques verdes per realitzar una correcta gestió de l'aigua. Són instal·lacions naturals dissenyades per drenar, retenir o infiltrar l'aigua de la superfície de manera que proporcionen un

enfocament més sostenible comparat amb les pràctiques convencionals, les quals dirigeixen els vessaments a una canonada que aboca a qualsevol curs d'aigua.

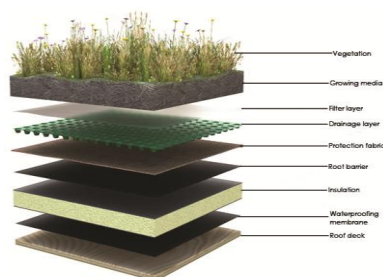
Butler i Parkinson (Stadtentwässerung Hannover 2000) van considerar i argumentar quins haurien de ser els objectius tècnics dels SUDS i van proposar la següent llista en ordre de prioritats:

- Manteniment d'una barrera eficaç en vers la salut pública
- Evitar la inundació local
- Evitar la degradació i/o contaminació local del medi ambient (aigua, sòl i aire)
- Fiabilitat a llarg termini i adaptabilitat als requisits del futur (encara desconegut).

### 1.5.1. Tipologies de SUDS

- *Sostres verds*: vegetació que creix als sostres dels edificis i cases. Contribueixen positivament en la gestió dels riscos d'inundacions ja que, redueixen el volum de pluja i via evaporació o evapotranspiració l'aigua es queda al seu cycle natural. Poden filtrar els contaminants de l'aigua de pluja, retenir-la per un emmagatzematge temporal i ajudar a mantenir les condicions de l'aire i temperatura naturals.

S'han de cobrir amb fins d'aïllament i utilitzar substrats de baix pes com graveta de pissarra. És recomanable disposar canals petits i sistemes de retenció per si les pluges són molt intenses i el sostre no té prou capacitat per infiltrar o retenir tota l'aigua.(Fig. 4, 5). (Hao X., et al 2010)



**Fig.4.** Construcció esquemàtica d'un sostre verd. Font: Hao X., et al 2010



**Fig.5.** Exemple de sostres verds. Font: Hao X., et al 2010

- *Paviments permeables*: funcionen de forma similar als filtres de sorra, ja que l'aigua circula per sobre del paviment, s'infiltra per uns materials porosos fins a arribar a una tela de filtra més fina que la reté i la va alliberant més lentament al subsòl. Els paviments permeables també ajuden a mantenir les condicions de l'aire i temperatura naturals, i a llarg termini s'ha observat que poden eliminar els contaminants presents a l'aigua. (Fig.6).

Si es combinen amb vegetació, fan augmentar el percentatge d'infiltració, atès que hi ha més contacte directa amb el sòl. S'anomenen llambordins vegetals o ecològics. (Fig. 7). Normalment s'utilitzen en aparcaments, carreteres, zones de vianants,... (Hao X., et al 2010)



**Fig.6.** Paviment permeable amb llambordins Font: *sfbetterstreets*



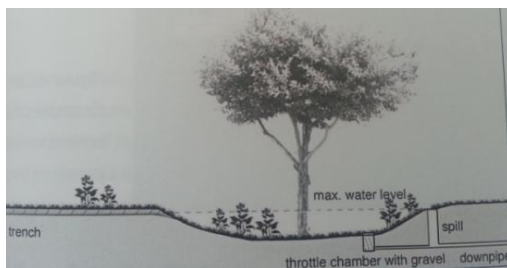
**Fig.7.** Paviment permeable amb llambordins vegetals o ecològics. Font: *sfbetterstreets*

- **Rases o trinxeres de retenció:** són canals naturals oberts, els quals poden orientar els fluxos d'inundació, reduir el volum i la velocitat de les aigües que hi flueixen i emmagatzemar l'aigua temporalment.

Depenent de la permeabilitat del sòl, una part de l'escorrentia es infiltrada al subsòl i l'altre part pot ser evapotranspirada per la vegetació. Si l'aigua sobrepassa el límit de la rasa aquesta flueix per unes canonades subterrànies i a través d'una cambra acceleradora, és transportada al sistema de drenatge (Fig.8).

Hi ha rases de retenció més petites dissenyades per rebre vessaments d'aigua de pluja (de les teulades per exemple), emmagatzemar-la i infiltrar-la lentament (Fig.9).

Durant els períodes secs les rases poden ser utilitzades com zones de gespa i formar part del paisatge urbà. (Werner P., et al 2011)



**Fig.8.** Esquema gràfic del funcionament d'una rasa de retenció o trinxera. Font: *Itwh*



**Fig.9.** Rases de retenció o trinxeres urbanes. Font: *Itwh*

- **Aiguamolls construïts:** els aiguamolls artificial ajuden a controlar les inundacions de les ciutats mitjançant la captura de l'escorrentia superficial i del vessament dels sobreixidors (Fig.10).



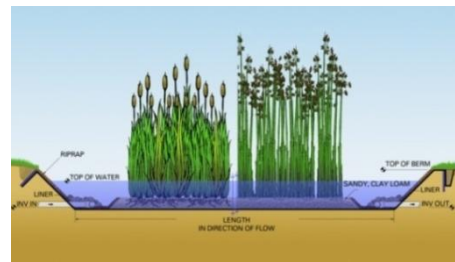
Depenent del tipus de vegetació que si disposi es poden utilitzar com a pretractament de les aigües residuals atès que, en milloren la qualitat eliminant-ne els contaminants presents. (Fig.11) S'ha observat que si s'utilitzen materials de filtra com grava i sorres tenen una eficiència del 95% en la reducció de compostos orgànics de carboni i més del 99% en la reducció de nutrients (Werner P. et al.,).

Estan dissenyats típicament per emmagatzemar l'aigua en curts terminis per prevenir la reproducció dels mosquits.

És important tenir en compte la necessitat d'inserció de l'oxigen el sòl quan es dissenya el sistema. S'aconsegueix realitzant fases seques regularment. (Hao X., et al 2010)



**Fig.10.** Exemple d'aiguamoll construït.  
Font: *Itwh*



**Fig.11.** Esquema d'un aiguamoll construït.  
Font: *EPA*

- *Estanys de retenció i detenció:* capten l'excés d'escolament superficial i del vessament dels sobreeixidors. Hi ha dos tipus d'estanys els de detenció, que drenen l'aigua per complet generalment el cap de dos dies (Fig.12), i els de retenció que mantenen l'aigua de forma permanent o fins que es s'infiltra al subsòl (Fig.13). Els estanys de retenció poden estar plens ja des d'un inici per tant, no tenen capacitat de reserva per fluxos addicionals. Per reduir aquets riscos, aquest tipus d'estanys han d'estar dissenyats utilitzant models de simulació continu de pluja de grans magnituds. Els estanys de detenció aporten un benefici addicional, ja que a causa dels nivells d'aigua canviant es crea un bioma on diferents espècies de flora i fauna si poden desenvolupar. Són fàcils d'integrar a les zones residencials ja que, poden formar part del paisatge a més de regular les condicions de l'aire i temperatura. (Werner P., et al 2011)



**Fig.12.** Exemple d'estany de detenció amb l'aigua ja infiltrada  
Font: *EPA*



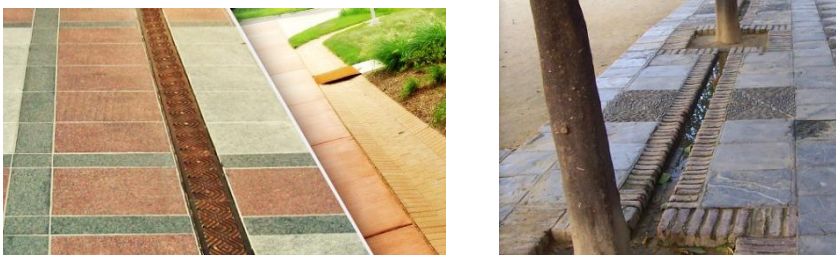
**Fig.13.** Exemple d'estany de retenció el qual manté l'aigua.  
Font: *EPA*

- *Estructures de drenatge obert d'aigües pluvials*: el drenatge de les aigües pluvials a través de canals oberts i trinxeres són una alternativa a la xarxa de canonades urbana, són més fàcils de construir, mantenir i més barats.

El disseny d'aquestes estructures depèn bàsicament del perfil de flux que hi circula, la pendent i la rugositat.

A més, ofereixen la possibilitat d'utilitzar l'aigua com un element arquitectònic (Fig.14, 15)

En cas d'inundació el sistema de drenatge ha de garantir una trajectòria de flux d'emergència, per evitar els danys del sistema del drenatge principal. (Vojinovic et al., 2014)



**Fig.14 i Fig.15.** Exemple d'estructures de drenatge obertes com elements arquitectònics de la ciutat. Font: *sfbetterstreets*.

## 1.6. Dipòsits de retenció o tancs de tempesta

Els dipòsits de retenció o tancs de tempesta són infraestructures pertanyents a la xarxa de col·lectors que s'utilitzen per dues funcions molt concretes. Per una banda, el seu volum permet una laminació i reducció del cabal, de manera que es vol aconseguir l'atenuació del valor màxim de cabal de sortida del dipòsit per evitar les inundacions o sobreeiximents que es creen quan hi ha períodes de pluja intensos. Per posteriorment, descarregar l'aigua acumulada de manera controlada a la xarxa de clavegueram un cop passat l'episodi de pluja.

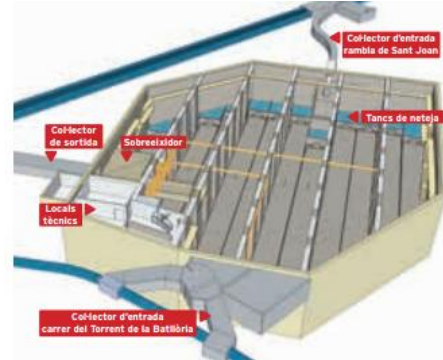
La segona funció és retenir l'aigua de pluja que es troba fortament contaminada degut a l'escorriment superficial per la ciutat per evitar que aquesta desemboqui directament als rius sense haver set tractada prèviament per una EDAR. D'altre banda, l'aigua retinguda disminueix el seu grau de contaminació, degut a la sedimentació provocada per la seva retenció. (CLABSA)

Les tipologies de dipòsits són molt variades, però bàsicament cal distingir entre dipòsits a cel obert, allà on es disposa d'espai suficient i enterrats on segons els criteris urbanístics de les ciutats porten a utilitzar la part superior com a parcs, carrers,... (Fig.16.)

Tots els dipòsits disposen d'un sistema de neteja automàtic programable, capaç d'arrossegar mitjançant una onada d'aigua els fangs dipositats al fons. Estan connectades als eixos principals de la xarxa de clavegueram a través de col·lectors d'entrada i sortida, que s'obren i es tanquen mitjançant comportes (Fig.17). Finalment, per supervisar l'estat de funcionament i la regulació en temps real de les comportes el dipòsit disposa d'un sistema de telecontrol. (CLABSA)



**Fig. 16.** Exemple del dipòsit pluvial Joan Miró de Barcelona. Font: CLABSA



**Fig. 17.** Exemple d'un possible disseny de dipòsit de retenció de la ciutat de Badalona. Font: Ajuntament de Badalona

## 2. Objectives

The aim of this final work is to point out if the implementation of SUDS and storm tanks in the city of La Garriga could reduce the number, the volume and the duration of the outfalls as well as the volume of the runoff, for maintaining the quality of the Congost River. Hence, according to the motivations presented within the introduction, the specific objectives are threefold:

- 1) To evaluate the improvements through a model that could be achieved by the use of SUDS and storm tanks which are implemented in the city of La Garriga.
- 2) To identify the best zone or zones to built storm tanks for reducing the volume, the number and the duration of the outfalls.
- 3) To perform a budget of costs-benefits for the different systems (SUDS and storm tanks) to estimate the economic accounting that will supposed for the city of La Garriga the implementation of them.

### 3. Materials i mètodes

#### 3.1. Descripció zona d'estudi

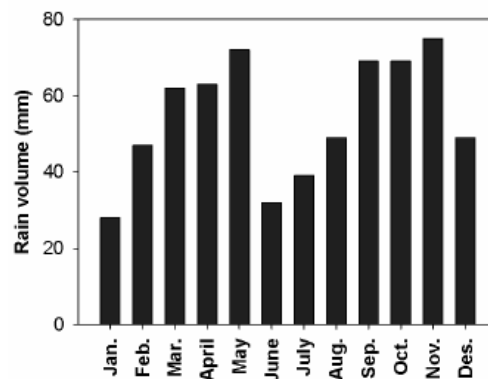
##### 3.1.1. Règim hídric de La Garriga

El cas d'estudi està situat a La Garriga, un municipi de Catalunya a la província de Barcelona. Forma part de la conca del Besòs (1,039 km<sup>2</sup>), atès que el riu Congost (Fig.18 ), un dels afluents del riu Besòs, travessa part de la ciutat.



**Fig.18.** Tram mitjà del riu Congost, prop de La Garriga (2012). Font: *Montserrat A. (2015)*

El règim pluviomètric mitjà anual a la Garriga és d'uns 640 mm. Aquest registre pluviomètric és normal tenint en compte que es troba en una zona de clima mediterrani, el qual es caracteritza per estius calorosos i secs, i hiverns suaus i plujosos. Cal destacar que es produeixen ruixats de forta intensitat durant la primavera i la tardor, i que durant els mesos d'estiu es produeixen períodes de sequera. *La Fig. 19* presenta el règim hídric mensual típic d'aquesta regió.



**Fig.19.** Mitjana de precipitació anual mesurada al municipi de La Garriga. (Dades anuals del període 1869-2013). Font: *Montserrat A. (2015)*

##### 3.1.2 Sistema de drenatge de La Garriga

El sistema recull aigües residuals tant urbanes com industrials de La Garriga i una part de l'Ametlla del Vallès les quals, són conduïdes al sistema de sanejament que està format per diversos col·lectors en alta que circulen paral·lels al riu Congost. El sistema és unitari

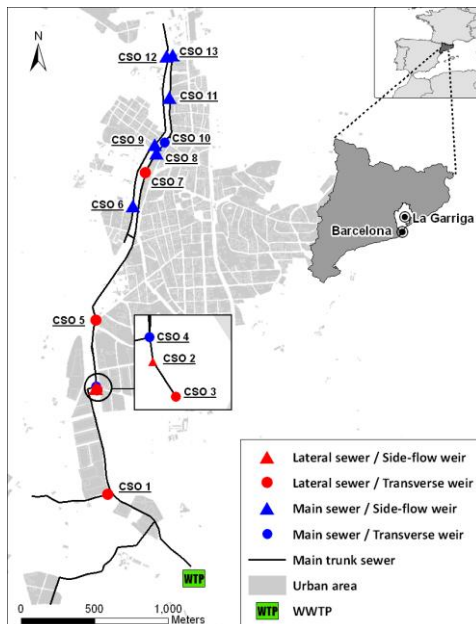


pràcticament en la seva totalitat, que vol dir que la xarxa de col·lectors no només transporten les aigües residuals sinó també les aigües d'escorrentia després de pluges.

L'àrea de drenatge de tota la conca urbana és de 260ha, on l'aigua residual és transportada a l'Estació Depuradora d'Aigües Residuals (EDAR) de La Garriga per gravetat a través de 7.3km de longitud de col·lectors circulars. El diàmetre dels col·lectors té un rang entre 400 i 800mm. El sistema conté un nombre total de 18 estructures de sobreiximent, on 8 són de flux lateral i 6 són de tipus transversal (Fig. 20). El sobreixidor 14 es troba situat a l'entrada de l'EDAR. Al mapa adjunt hi ha il·lustrat el sistema d'aigües residuals de La Garriga (Montserrat et al., 2013 i Pla Directori de Clavegueram de La Garriga) (Fig. 21).



**Fig.20.** Exemple d'estructures de sobreiximent lateral (esquerra) i transversal (dreta) del sistema unitari de La Garriga. Font: Montserrat A. (2015)



**Fig.21.** Visió del conjunt del cas d'estudi. Hi ha situades les estructures de sobreiximent numerades segons l'estudi de Montserrat et al., 2013. Font: Science of Total Environment. Using data from monitoring combined sewer overflows to assess, improve, and maintain combined sewer systems.

Cada ciutat té la necessitat de portar a terme el manteniment dels col·lectors i de la depuració de les aigües residuals. A La Garriga, l'empresa responsable de la neteja i el manteniment dels col·lectors en alta, Drenatges Urbans del Besòs, està especialitzada en aquest camp. Drenatges Urbans del Besòs forma part del Consorci per la Defensa de la Conca del Riu Besòs, el qual està integrat per 56 ens, dels quals, 52 són municipis del

Barcelonès, Osona, Vallès Occidental i Vallès Oriental, amb una població al voltant de 2.400.00 habitants. La resta són la Diputació de Barcelona, l'Àrea Metropolitana de Barcelona, el Consell Comarcal del Vallès Oriental i el Consorci per la Gestió dels Residus del Vallès Oriental.

### 3.2 Insitut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmH (ITWH): HYSTEM EXTRAN i KOSIM



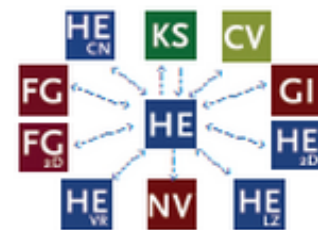
L'estudi s'ha realitzat sota el marc d'una col·laboració entre l'ICRA i l'empresa Itwh, la qual es troba situada a la ciutat de Hannover, Alemanya. Combinen des de fa més de 25 anys la investigació i la pràctica en el camp de la hidrologia. Es basa en dos fronts d'investigació: per una banda, venda d'un software pròpi que engloba set programes basats en l'estudi i simulació dels sistemes de claveguram (HYSTEM-EXTRAN 7, LANGZEIT, CONTROL, HYSTEM-EXTRAM 2D, VERTEILTES RECHNEN, CONNECT, GIPS, KOSIM, FOG and FOG 2D). I per l'altre, ús del software propi per la investigació i gestió dels sistemes de clavegueram de diferents poblacions, vers les demandes dels clients per inundacions a les ciutats i renovacions d'aquests.

El producte principal del software és l'anomenat HYSTEM-EXTRAN 7, es un programa hidrodinàmic aquest es basa en l'anàlisi dels riscos causats per les inundacions urbanes a través de la simulació de diferents escenaris reals. Es una eina per gestionar-los, atès que simula l'extensió de les inundacions, el nivell de l'aigua i les velocitats d'aquesta, els quals són la base per l'avaluació dels riscos.

El seu rang d'aplicació es pot ampliar mitjançant l'ús de LANGZEIT, CONTROL, HYSTEM-EXTRAM 2D, KOSIM i FOG (Fig. 22) els quals es poden agregar per facilitar la planificació gràfica del sistema ja que, per exemple el FOG i el GIPS són extensions de l'ArcGIS®.

L'empresa a més disposa d'un programa innovador que s'utilitza per realitzar simulacions contínues al drenatge urbà. El KOSIM, és un programa hidroestàtic el qual, simula els processos de càrrega de pluja i escorrentia de contaminació dins el sistema de claveguerem. A més, d'una eina molt funcional que disposa el KOSIM és la possibilitat d'implentar SUDS als sistemes de drenatge i avaluar la seva efectivitat dins de els ciutats.

Finalment, l'itwh coopera en les línies d'investigació de diferents universitats i amb la BMBF (Ministeri Alemany de Recerca i Educació), treballen activament en grups de treball a la DWA nacional (Associació Alemanya d'aigua i residus) i a la IWA internacional



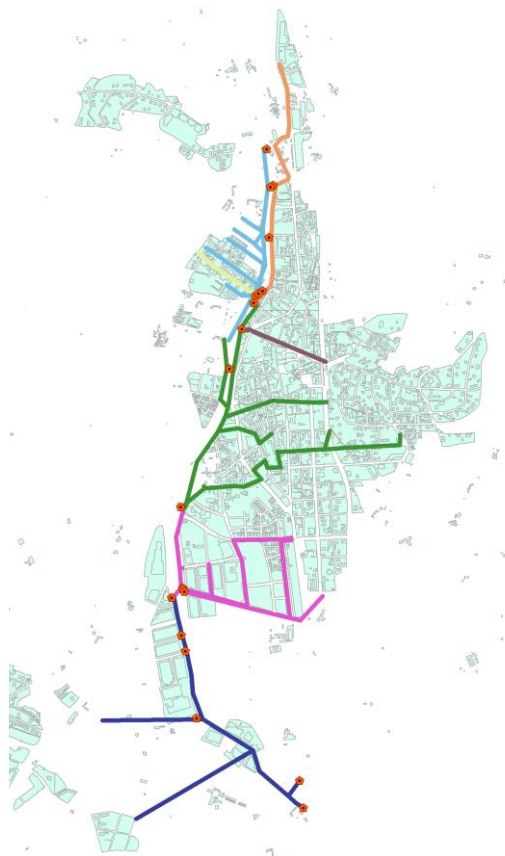
**Fig.22.** HYSTEM-EXTRAN 7 juga un paper molt important a la línia de productes d'itwh. Font: itwh

(Associació Internacional de l'aigua), com per exemple IWASVietnam, a més d'impertir cursos d'aprenentatge del seu software els respectius clients.

### 3.3 Metodologia de simulació

#### 3.3.1. Disseny amb KOSIM del model del sistema de drenatge de La Garriga

El punt de partida de la metodologia de simulació és un model en SWMM del sistema de drenatge i de col·lectors que va desenvolupar i calibrar l'ICRA dins el marc de la Tesis de l'Albert Montserrat (data de la defensa 3/7/2015) dins el marc del projecte ENDERUS



finançat pel MINECO. A través del programa HYSTEM EXTRAN s'han traspassat les dades (Montserrat A. 2015) que es van obtenir del SWMM (Storm Water Management Model), un altre programa de simulacions, al KOSIM i s'ha realitzat aquesta divisió d'àrees (Fig.23) (cada color una àrea) observant els sobreixidors que són més propenses a registrar sobreiximents i dividint les àrees segons aquests punts.

Un cop traspassada la informació al programa KOSIM es dissenya i es construeix un model nou de l'actual sistema de clavegueram de La Garriga (Fig. 24), el qual a partir d'aquest es duran a terme totes les modificacions. Cada una de les àrees representades amb colors diferents en el model del KOSIM es representen com a àrees unides a un SK:

**Fig.23.** Divisió de les àrees de La Garriga utilitzant el programa HSYSTEM EXTRAN. Cada color és una àrea diferent. Font: *Itwh*

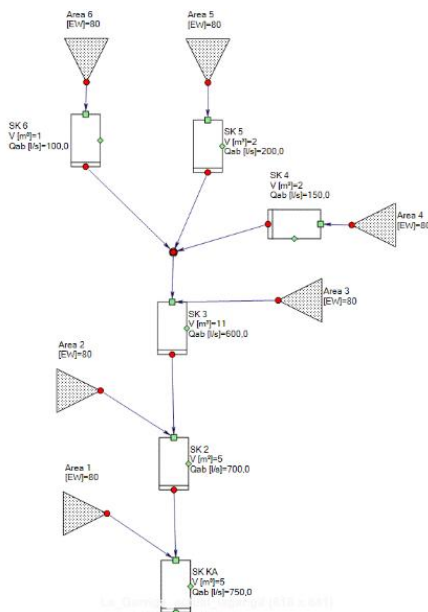
– A cada **àrea** (triangles), s'identifiquen dos tipus de sòls, l'impermeable i el permeable, cada un amb una àrea concreta (ha). A més dels habitants per ha (h/ha) que serà de 80h/ha, els litres d'aigua per persona i dia (L/h\*dia) serà de 160L/h\*dia<sup>1</sup>, i el temps que tarda l'aigua de l'escorrentia superficial a arribar al sistema de drenatge que dependrà de la situació de la zona respecte el col·lector principal.

<sup>1</sup> Els litres d'aigua per persona i dia és la mitjana del valor de consum d'un habitatge en un edifici de pisos (120-130L/h\*d) i una casa unifamiliar amb jardí (200-210L/h\*d) extrets de l'Agència Catalana de l'Aigua de la Generalitat de Catalunya

A la *Taula 1* s'observen les hectàrees per cada tipus de sòl i les totals per cada àrea:

Àrea	Sòl permeable(ha)	Sòl impermeable(ha)	Total(ha)
<b>SK KA (1)</b>	17.67	7.57	25.24
<b>SK 2 (2)</b>	17.67	15.52	33.19
<b>SK 3 (3)</b>	53.68	24.7	78.38
<b>SK 4 (4)</b>	10.82	13.73	24.55
<b>SK 5 (5)</b>	20.27	9.93	30.2
<b>SK 6 (6)</b>	10.23	4.36	14.59

**Taula 1.** Àrees amb les hectàrees de cada un dels tipus de sòl (permeable i impermeable) i el total.



**Fig.24.** Model actual de La Garriga construït amb el programa KOSIM

– I a cada **SK** (rectangles), s'hi defineixen les característiques geomètriques del sistema de drenatge i dels sobreeixidors com: la llargada total de les canonades que conformen l'àrea (m), el tipus de canonades (circulars, quadrades,...) en aquest sistema són sempre circulars, la pendent mitjana de totes les canonades (‰), el diàmetre mitja del les canonades (m), l'alçada que hi ha entre la canonada i el sobreeixidor (m), l'alçada en què es troba el sobreeixidors (cm) i el volum d'aigua màxim que pot transportar la canonada (m<sup>3</sup>).

### 3.3.2. Selecció dels SUDS a La Garriga

Primerament, s'ha seleccionat un exemple de pluja d'un any de La Garriga (2012-2013) (Idescat 2012), atès que el programa KOSIM només simula precipitacions de mínim un any. Seguidament, s'han seleccionat les dos tipologies de SUDS que actualment s'estan construint més a Alemanya ja que, estan aportant millores i reduint i/o evitant més danys a les ciutats. S'implantaràn en un 20% (10% llambordins vegetals permeables i 10% trinxera amb grava) i en un 30% (15% i 15%) de la superfície de cada àrea. Les dos tipologies són les següents:

- ❖ **Llambordins vegetals o ecològics permeables:** són estructures que combinen el llambordins de ciment amb vegetació, tal i com s'observa a la *Fig.25*. L'objectiu és capturar l'escorrentia superficial i infiltrar-la al subsòl per reduir i/o evitar les inundacions, a més de reposar l'aigua a les capes freàtiques. Són molt utilitzats en zones d'aparcaments.



**Fig.25.** Exemple d'un aparcament amb llambordins vegetals o ecològics permeables. Font: *Sfbetterstreets*

- ❖ **Trinxera amb grava connectada amb la teulada:** l'aigua de la pluja cau sobre les teulades dels edificis i s'escola fins arribar a la xarxa de clavegueram provocant que el sistema entri en càrrega. En aquest cas, l'objectiu és evitar que aquest volum d'aigua entri el sistema de forma sobtada i s'aconsegueix enviant-la a una trinxera molt propera que infiltra l'aigua al subsòl fins a arribar a una àrea amb sediments de grava. L'àrea amb grava té unida una canonada foradada, per tal que l'aigua que si vagi infiltrant entri a aquesta canonada i arribi al sistema de drenatge de forma més lenta (Fig.26)

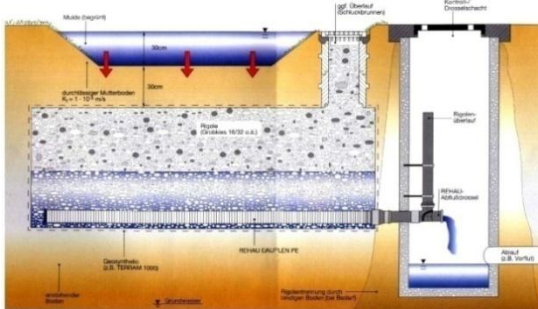
### 3.3.3. Disseny dels SUDS

S'han implantat llambordins vegetals o ecològics permeables primer en un 20% de la superfície impermeable de cada àrea i després en un 30%.

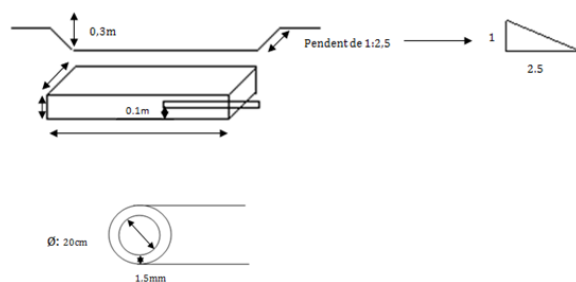
Per les trinxeres amb grava s'han variat les dimensions, i consegüentment els volums, segons la superfície de cada àrea i pel % de SUDS que s'hi vol implantar.

Els volums que poden suportar les trinxera i els espais amb grava dependran d'aquests factors (*itwh*):  $2\text{m}^3/100\text{m}^2$  per la trinxera i  $3\text{m}^3/100\text{m}^2$  per l'àrea amb grava és a dir, cada trinxera amb grava tindrà una dimensió diferent per cada àrea.

Hi ha un seguit de valors constants per totes les trinxeres amb grava com: la pendent de la trinxera 1:2.5, l'alçada de la trinxera de 0.3m, la distància de la canonada foradada al fons de 0.1m, el diàmetre de 20cm i el gruix de 1.5mm (Fig.27).



**Fig.26.** Exemple del funcionament d'una trinxera amb grava. Font: *itwh*



**Fig.27.** Disseny esquemàtic de les mesures de la trinxera amb grava i la canonada foradada.



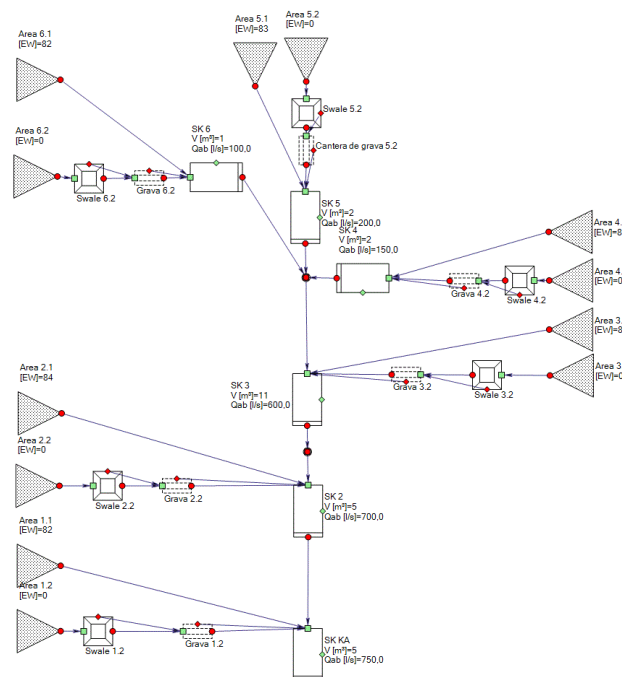
### 3.3.4. Implantació dels SUDS

Per implantar els SUDS dins la plataforma de simulació s'ha creat una nova àrea dins de cada àrea essent del 10% o 15% de les hectàrees totals i s'ha restat de l'àrea de la part impermeable. Aquesta s'ha identificat com a mixta atès que, els SUDS tenen un part permeable i una d'impermeable. Seguidament, es selecciona el tipus de SUDS que es requereix, en aquest cas el programa ja contempla aquests dos sistemes i només s'ha d'ajustar l'àrea del SUDS (10% o 15%) i el temps (minuts) que tarda l'aigua de l'escorrentia superficial a arribar al sistema de drenatge. A la Fig.28 es pot observar un exemple de taula de paràmetres per llambordins vegetals permeables (*Rasengittersteine*).

1. Allgemein	
Bezeichnung	Rasengittersteine
Beschreibung	Rasengittersteine / Schotterterrasse
Benetzungsverluste Vben [mm]	1,5
Muldenverluste Vmuld [mm]	3,5
Anfangsabflussbeiwert Psi,0 [-]	0
Endabflussbeiwert Psi,E [-]	0,5
2. Speicherkonstante	
Speicherkonstante Konstant	Ja
3. Startwerte	
Benetzungsspeicher [mm]	0
Muldenauffüllgrad [-]	0
4. Regenwasserverschmutzung	
Stoffgrößen	(Auflistung)

**Fig.28.** Exemple de taula de paràmetres del programa KOSIM. Exemple per la implantació del paviment permeable amb llambordins vegetals o ecològics (*Rasengittersteine*). Benetzungsverluste (aigua que s'absorbeix pels porus de qualsevol element), muldenverluste (aigua que es queda a estancada a les irregularitats del terreny, com per exemple: trinxeres, forats,...), anfangsabflussbeiwert (% d'escolament superficial abans del període de pluja) i endabflussbeiwert (% d'escolament superficial al final del període de pluja). Els altres paràmetres no es tenen en compte en aquest cas.

El model queda redissenyat tal i com s'observa a la Fig. 29 tant per la implantació dels SUDS al 20% com pel 30%.



**Fig.29.** Model de KOSIM del sistema de drenatge de La Garriga amb un 20% i 30% de SUDS per cada una de les àrees. Exemple: l'àrea 6.1 hi ha implantat els llambordins permeables vegetals o ecològics i a l'àrea 6.2 la teulada connectada amb la trinxera amb grava.

### 3.3.5. Paràmetres analitzats pels SUDS

Per comprovar l'eficiència dels SUDS al sistema de drenatge de La Garriga utilitzant el model anterior s'han avaluat un seguit de paràmetres relacionats amb: l'escorrentia superficial, el cabal que circula pels col·lectors i el volum i nombre de sobreiximents.

S'han realitzat dos tipus d'anàlisis diferents per obtenir resultats més realistes:

- *El cabal que circula pels col·lectors:* s'ha simulat tres esdeveniments individuals d'un sol dia per tres episodis de pluja amb volums diferents: baixa, mitjana i alta segons un patró de precipitació establert durant l'any 2012-2013 a La Garriga. L'objectiu és observar la reducció dels pics de cabal per diferents volums de pluja.

Les dades de precipitació s'han obtingut a través d'una estació meteorològica, el model David Vantage Vue, situada al terrat de l'Ajuntament de La Garriga, al centre del municipi. El Senor de pluja consta d'un sensor tipus "cub d'inflexió", amb una àrea de recol·lecció de 116cm<sup>2</sup> i una resolució de 0.2mm (Idescat 2012).

Per cada una de les pluges s'ha extret la informació següent per comprar les seves característiques:

- ❖ ***Volum total precipitació (mm):*** Volum total de precipitació.
- ❖ ***Durada total de precipitació (min):*** des de que comença a ploure fins que para, tenint en compte el període que para i hi retorna.
- ❖ ***Durada del període de precipitació (min):*** períodes de precipitació.
- ❖ ***Intensitat màxim que arriba la precipitació (mm/5min):*** calculada pels mm precipitats durant un període de 5 minuts. L'aparell té una precisió de 0.2.

A la *Taula 2* es mostren cada un dels episodis amb les característiques que els defineixen com a A,B o C. Es pot observar que estan ordenades de més baix a més alt volum de pluja:

Episodi#	Tipus	Volum (mm)	Durada total (min)	Durada del període (min)	Intensitat màxima (mm/5min)
A	Baixa	4.6	115	100	0.4
B	Mitjana	11.4	350	120	1.8
C	Alta	22.6	420	250	1.8

**Taula.2.** Representació de tots els episodis de pluja seleccionats amb les característiques que els defineixen. S'han anomenat cada una de les pluges amb una lletra A,B,C i es diferencien (baixa, mitjana i alta) segons el volum (mm) de pluja. Font: *Montserrat A. 2015*

- *L'escorrentia superficial, el volum i nombre de sobreiximents:* s'han simulat per un període llarg de pluja de tot un any (2012-2013) de La Garriga, atès que els resultats són més realistes i significatius que per esdeveniments d'un sol dia.

### 3.3.6. Construcció d'un dipòsit de retenció d'aigües pluvials o tanc de tempesta

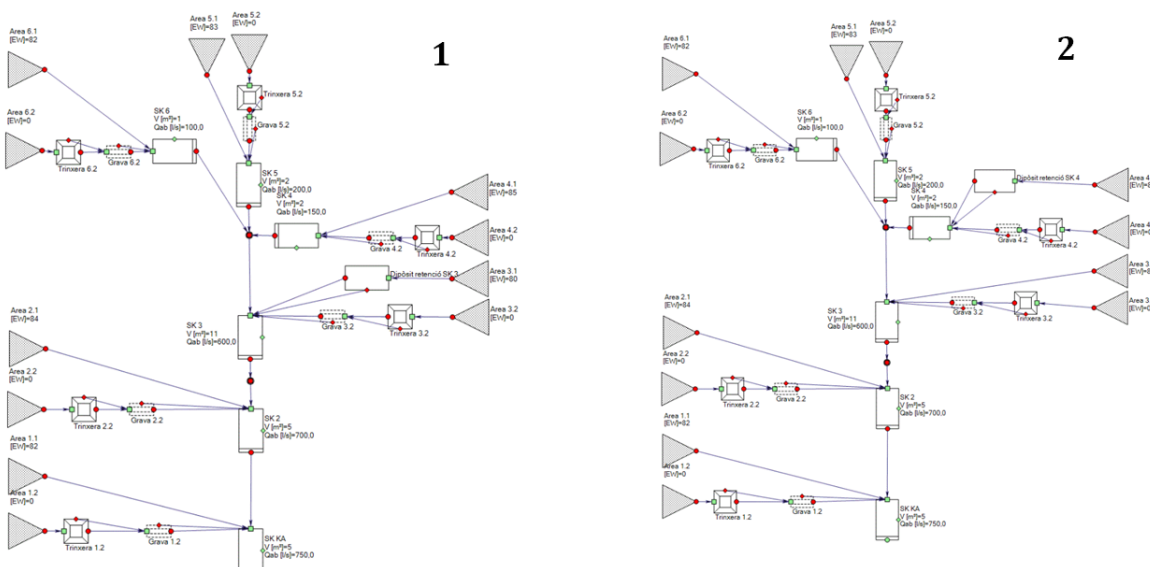
A més d'observar les millores en el sistema de drenatge després d'implementar els SUDS s'ha complementat l'estudi amb la selecció de la zona més efectiva per construir un tanc de tempesta per reduir, sobretot, la problemàtica relacionada amb els sobreiximents, atès que els tancs de tempesta s'utilitzen per reduir i/o eliminar els sobreiximents.

Primerament, s'han estudiat els volums de sobreiximents per cada àrea del model actual i s'han seleccionat les dues àrees on aquest és més elevat per disposar el tanc: SK 3 i SK 4. Seguidament, amb un factor proporcionat per *Itwh*, s'ha calculat el volum mitjà que hauria de tenir el tanc segons les hectàrees de sòl impermeable:  $200\text{m}^3/\text{ha}_{\text{imp}}$ .

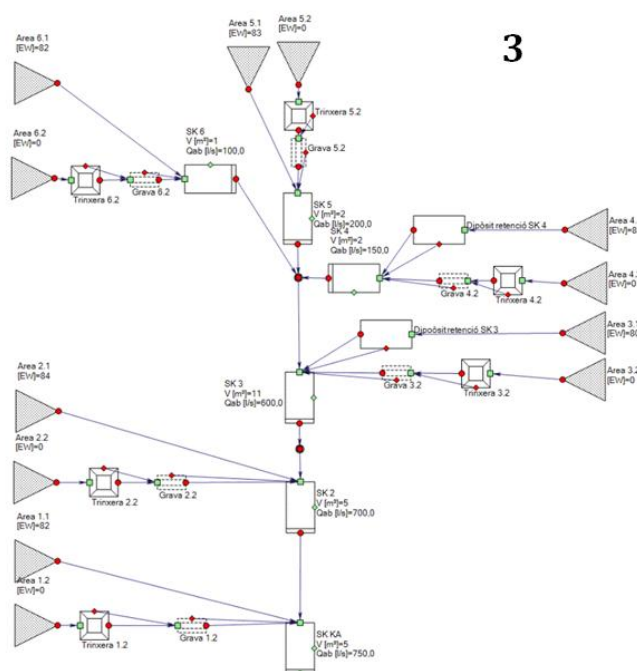
### 3.3.7. Escenaris combinats d'implementació de SUDS i construcció de tancs de retenció

I finalment, s'han creat tres possibles models d'instal·lació de dipòsits de retenció (Fig.30.1, 30.2, 30.3) per tal d'observar quin dels tres és més eficient, en quant a la disminució del volum de sobreiximent, nombre de sobreiximents i durada del sobreiximent:

- 1) Implantar SUDS en un 20% de cada àrea; 10% trinxeres unides a un terreny amb grava i 10% llambordins vegetals o ecològics. I situar a la SK 3 un tanc de tempesta capaç d'acumular  $3000\text{m}^3$  d'aigua.
- 2) Implantar SUDS en un 20% de cada àrea; 10% trinxeres unides a un terreny amb grava i 10% llambordins vegetals o ecològics. I situar a la SK 4 un tanc de tempesta capaç d'acumular  $3000\text{m}^3$  d'aigua.
- 3) Implantar SUDS en un 20% de cada àrea; 10% trinxeres unides a un terreny amb grava i 10% llambordins vegetals o ecològics. I situar dos tancs de tempesta capaços d'acumular un volum de  $1500\text{m}^3$  a la SK 3 i a la SK 4.







**Fig.30.1** Model amb 20% de SUDS i un dipòsit de retenció a SK3, amb un volum de 3000m<sup>3</sup>. **Fig.30.2** Model amb un 20% de SUDS i un dipòsit de retenció a SK 4 amb un volum de 3000m<sup>3</sup>. **Fig.30.3** Model amb un 20% SUDS i dos dipòsit de retenció a SK 3 i 4 amb un volum de 1500m<sup>3</sup> cada un.

### 3.3.8. Paràmetres analitzats per seleccionar l'àrea de construcció dels dipòsits de retenció d'aigües pluvials complementats pels SUDS

Per seleccionar l'àrea més eficient per construir un dipòsit de retenció d'aigües pluvials s'han analitzat un seguit de paràmetres: el nombre de sobreeximents, el volum total de sobreeximents i el cabal que circula pels col·lectors.

S'han diferenciat dos tipus d'anàlisis, igual que pels SUDS:

- *El cabal que circula pels col·lectors:* s'ha simulat els tres mateixos esdeveniments individuals amb volums diferents: baixa, mitjana i alta, que pels SUDS. L'objectiu és compara les diferències de reducció dels pics de cabal en un sistema amb un 20% de SUDS, amb i sense tancs de retenció.
- *El nombre i el volum de sobreeximent:* s'han simulat també pel període llarg de pluja de l'any 2012-2013 de La Garriga.

Finalment, un cop seleccionat el model més eficient s'ha analitzat el volum de sobreeximent per cada àrea i per diferents rangs de pluja. És a dir, el volum de sobreeximent per esdeveniments més extrems i menys freqüents i per esdeveniments amb menys volum de precipitació i més freqüència, per tal d'observar per quin rang de pluja és més eficient la construcció d'aquests tancs de retenció.

## 4. Resultats i discussió

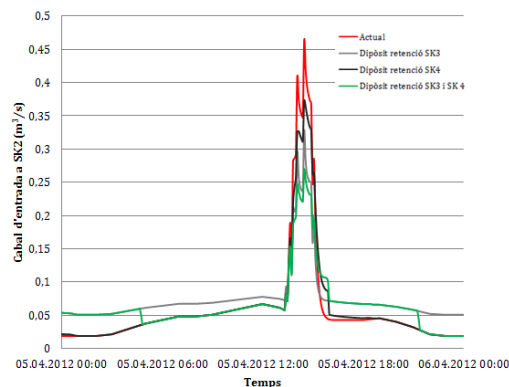
Després de realitzar totes les simulacions necessàries per diferents tipus de pluges i models del sistema de drenatge, s'han obtingut els següents resultats dels paràmetres estudiats per comprovar si s'han assolit els objectius presentats inicialment.

### 4.1. Cabal d'entrada a SK 2 ( $m^3/s$ )

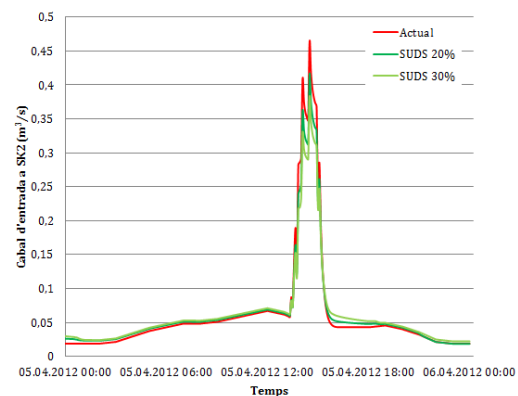
Es representa el cabal a l'entrada ( $m^3/s$ ) de l'àrea SK 2 després d'implantar SUDS a un 20% i un 30% respectivament, a cada una de les àrees (Gràfics 2,4,6). I el cabal a l'entrada ( $m^3/s$ ) de l'àrea SK 2 després de mantenir un 20% de SUDS a cada àrea i de disposar tancs de retenció d'aigües pluvials a SK3 ( $3000m^3$ ), SK 4 ( $3000m^3$ ) i a SK 3 i SK 4 juntament ( $1500m^3$ ) en un període de pluja d'un dia (Gràfics 1,3,5).

S'ha seleccionat analitzar el cabal d'entrada a SK 2 atès que, és l'àrea que engloba la part final del sistema de drenatge. L'objectiu és observar per una banda, l'efecte de la construcció dels dipòsits de retenció situats a SK 3 i SK 4 i per l'altre, l'efecte de la suma de la reducció del cabal de cada àrea per la implantació dels SUDS en un 20% i 30%.

- **Episodi A** (Del 5 d'abril del 2012 amb un volum de 4.6mm)

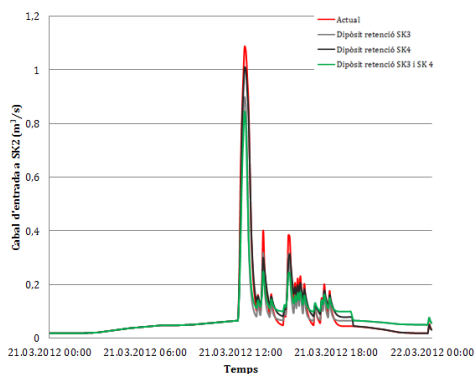


**Gràfic 1.** Episodi A de pluja del 5 al 6 d'abril amb un volum de 4.6mm pel model amb dipòsits de retenció d'aigües pluvials i 20% de SUDS.

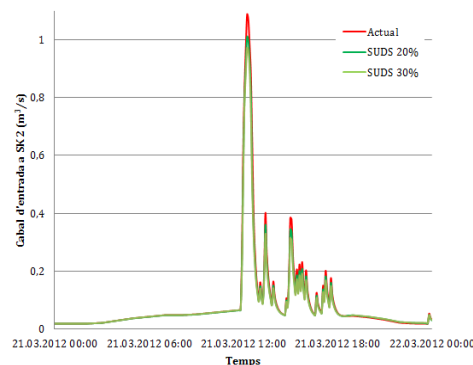


**Gràfic 2.** Episodi A de pluja del 5 al 6 d'abril amb un volum de 4.6mm pel model amb SUDS.

- **Episodi B** (21 de març del 2012. Inici 10h, final 16h amb un volum de 11.4mm)

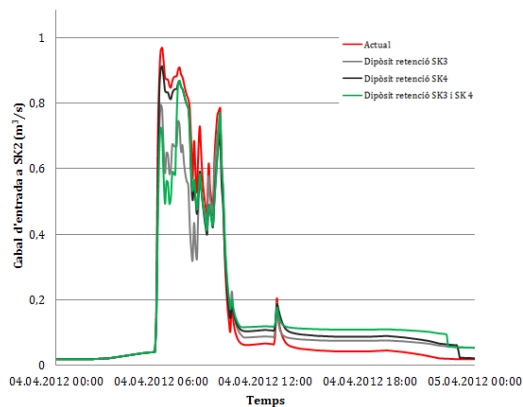


**Gràfic 3.** Episodi B de pluja del 21 al 22 de març amb un volum de 11.4mm pel model amb dipòsits de retenció d'aigües pluvials i 20% de SUDS.

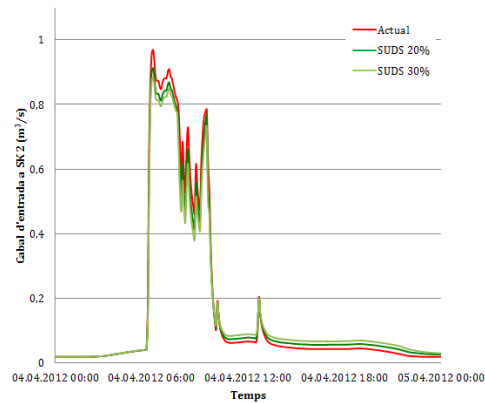


**Gràfic 4.** Episodi B de pluja del 21 al 22 de març amb un volum de 11.4mm pel model amb SUDS.

- **Episodi C (4 d'abril del 2012. Inici 03h, final 10h amb un volum de 22.6mm)**



**Gràfic 5.** Episodi C de pluja del 4 al 5 d'abril amb un volum de 22.6mm pel model amb dipòsits de retenció d'aigües pluvials i 20% de SUDS.



**Gràfic 6.** Episodi c de pluja del 4 al 5 d'abril amb un volum de 22.6mm pel model amb SUDS.

Per aquest tipus d'anàlisi només es tenen en compte els valors dels pics de cabal en episodis de pluja del col·lector a l'entrada de l'àrea SK2 i no dels cabals en temps sec, és a dir quan l'episodi ha finalitzat.

S'observa que en tots els models s'assoleix una reducció dels pics de cabal, la més significativa és la del model amb un 20% de SUDS i dos dipòsits de retenció (1500m<sup>3</sup>) a SK3 i SK4, la qual redueix el cabal de 0.9m<sup>3</sup>/s fins a 0.4-0.5m<sup>3</sup>/s a l'episodi C (Gràfic 5). A més, també es pot comprovar que la implantació dels SUDS en un 30% (Gràfic 6) assoleix la mateixa reducció que si construïssim un dipòsit de 3000m<sup>3</sup> tant a SK 3 com a SK 4 (Gràfic 5)

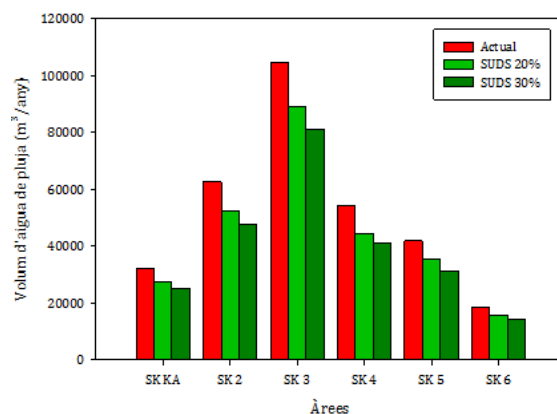
El Gràfic 5, hi ha una disminució del cabal que es diferencia dels altres. Aquest fet succeeix perquè l'àrea SK3 és la que conforma un nombre d'hectàrees més elevat i el dipòsit pot recollir més volum d'aigua i per això, el pic disminueix de 0.9m<sup>3</sup>/s a 0.3m<sup>3</sup>/s.

Un altre punt important a destacar, és que s'aconsegueix reduir el pic tant en els esdeveniments de pluja amb volums petits (Gràfics 1,2) com en esdeveniments amb volums grans (Gràfics 3,4,5,6), és a dir que per qualsevol tipus de pluja els sistemes proposats aporten un benefici al medi ambient aconseguint disminuir els pics de cabal dels col·lectors i conseqüentment els volums sobreeiximents sobtats d'aigües residuals amb poca quantitat o absència d'oxigen que impacten de forma molt negativa a la flora i fauna dels rius.

Finalment, si observem el global dels tres episodis i de tots els models es pot determinar que el que aconsegueix atenuar de forma més significativa el pic de cabal és el model amb dipòsits a SK3 i SK4.

## 4.2. VQR o el volum d'escorrentia superficial

És el volum total de pluja ( $m^3$ ) de l'any 2012-2013 que entra al sistema de clavegueram. L'objectiu és aconseguir que els SUDS infiltrin el màxim de volum d'aigua perquè conseqüentment no entri al sistema.



**Gràfic 7.** Volum d'aigua de pluja que entra al sistema de clavegueram pels models amb 20% i 30% de SUDS de l'any 2012-2013

Àrea	Actual	20% SUDS	%millora	30% SUDS	%millora
SK KA	32368	27406,33	15,33	24956,01	22,90
SK 2	62640	52531,67	16,14	47485,34	24,19
SK 3	104816	89046,67	15,04	80970,66	22,75
SK 4	54451	44558,99	18,17	41068,34	24,58
SK 5	41876	35392,99	15,48	31176,33	25,55
SK 6	18653	15803	15,28	14393	22,84
<b>Total</b>			<b>15,91</b>		<b>23,80</b>

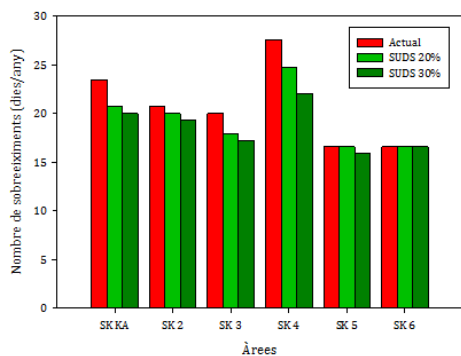
**Taula 3.** Volums d'aigua de pluja que entren al sistema pel model actual, amb 20% i 30% de SUDS i els seus respectius percentatges de millora

Hi ha una reducció significativa del volum de pluja que entra al sistema després d'implantar SUDS (Gràfic 7) és a dir, que una part important de l'aigua de pluja és infiltrada pels SUDS cap el subsòl. S'observa a la Taula 3 que, per totes les àrees (SK) la reducció es troba entre un 15-18% si s'implanta un 20% de SUDS i d'un 22-24% si és d'un 30%.

Aquesta disminució és molt beneficiosa atès que, per una banda és la primera etapa on s'evita que part del volum d'aigua de pluja entri al sistema, ajudant ja des d'un inici a reduir el volum de cabal de les canonades i conseqüentment a evitar que els col·lectors entrin en sobrecarrega. I per l'altre, perquè l'aigua retorna directament al seu cicle natural ajudant a recuperar les capes freàtiques i els aqüífers o simplement per ser usada per qualsevol ésser viu.

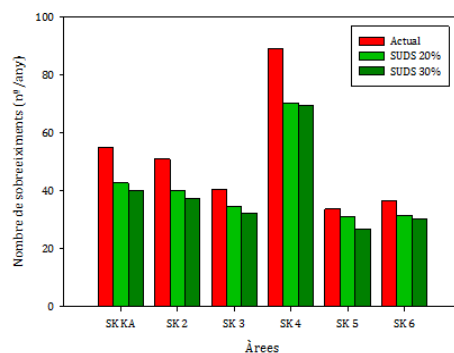
### 4.3 n, ue, d o nombre de dies amb sobreiximent i T,ue o nombre real de sobreiximents

El paràmetre *n*, *ue*, *d* són els dies amb sobreiximent a l'any 2012-2013 (dies/any). S'ha de tenir en compte que s'hi es produeix més d'un sobreiximent al dia es comptabilitza com a un sol dia. I el *T,ue* són el nombre real de sobreiximents per l'any 2012-2013, on es compten tots els sobreiximents.



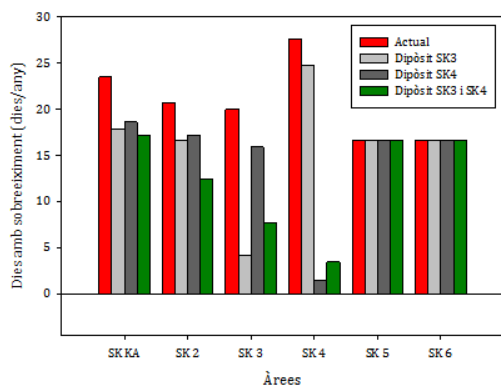
Àrea	Actual	20% SUDS	%millora	30% SUDS	%millora
SK KA	23,5	20,7	11,91	20	14,89
SK 2	20,7	20	3,38	19,3	6,76
SK 3	20	17,9	10,50	17,2	14,00
SK 4	27,6	24,8	10,14	22,1	19,93
SK 5	16,6	16,6	0,00	15,9	4,22
SK 6	16,6	16,6	0,00	16,6	0,00
<b>Total</b>			<b>5,99</b>		<b>9,97</b>

Gràfic 8 i Taula 4. Nombre de dies amb sobreiximent durant l'any 2012-2013 pels models amb 20% i 30% de SUDS amb els seus respectius percentatges de millora



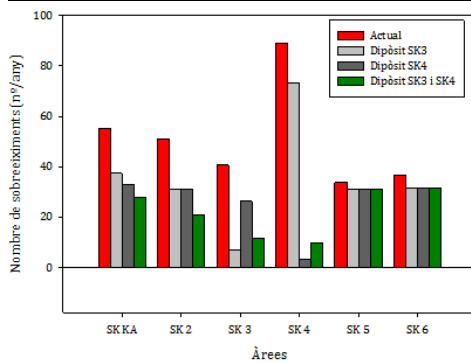
Àrea	Actual	SUDS 20%	SUDS 30%
SK KA	55,2	42,8	40
SK 2	51,1	40	37,3
SK 3	40,7	34,5	32,4
SK 4	89	70,4	69,7
SK 5	33,8	31	26,9
SK 6	36,6	31,7	30,4

Gràfic 9 i Taula 5. Nombre real de sobreiximents durant l'any 2012-2013 pels models amb 20% i 30% de SUDS



Àrea	Actual	SK3	%millora	SK4	%millora	SK3 i SK4	%millora
SK KA	23,5	17,9	23,83	18,6	20,85	17,2	26,81
SK 2	20,7	16,6	19,81	17,2	16,91	12,4	40,10
SK 3	20	4,1	79,50	15,9	20,50	7,6	62,00
SK 4	27,6	24,8	10,14	1,4	94,93	3,4	87,68
SK 5	16,6	16,6	0,00	16,6	0,00	16,6	0,00
SK 6	16,6	16,6	0,00	16,6	0,00	16,6	0,00
<b>Total</b>			<b>22,21</b>		<b>25,53</b>		<b>36,10</b>

Gràfic 10 i Taula 6. Nombre de dies amb sobreiximent durant l'any 2012-2013 pels models amb 20% de SUDS i amb la construcció de dipòsits de retenció a SK3, SK4 i SK3 i SK4 amb els seus respectius percentatges de millora.



Àrea	Actual	SK3	SK4	SK3 i SK4
SK KA	55,2	37,3	33,1	27,6
SK 2	51,1	31	31	20,7
SK 3	40,7	6,9	26,2	11,7
SK 4	89	73,1	3,4	9,7
SK 5	33,8	31	31	31
SK 6	36,6	31,7	31,7	31,7

**Gràfic 11 i Taula 7.** Nombre real de sobreeximents durant l'any 2012-2013 pels models amb 20% de SUDS i amb la construcció de dipòsits de retenció a SK3, SK4 i SK3 i SK4

Els paràmetres  $n$ ,  $ue$ ,  $d$  i  $T,ue$  van relacionats atès que, com s'ha dit anteriorment el nombre de dies de sobreeximent no té en compte el nombre real de sobreeximents, només es comptabilitza si hi ha sobreeximent o no, en canvi el  $T,ue$  té en compte el nombre total.

Es pot observar que en el Gràfic 8 i la Taula 4 hi ha una disminució del nombre de dies amb sobreeximent entre 4-11% pel model amb 20% de SUDS i del 7-20% amb un 30% per les àrees de SK KA a SK 4. Pels models amb dipòsits de retenció els percentatges són més elevats, atès que hi ha un 20% de SUDS complementats amb dipòsits, els quals fan la funció de recollir part de l'aigua i no deixen que sobreixi. La mitjana més significativa de reducció de dies amb sobreeximent és del 36% pel model que considera la construcció de dipòsits de retenció a SK3 i SK4 (Gràfic 10 i Taula 6).

Un efecte molt diferent i quasi absent a disminucions succeeixi per les àrees SK5 i SK6, tant pels models amb SUDS (Gràfics 9,10 i Taules 4 i 5) com pels models amb dipòsits (Gràfics 10 i 11, Taules 6 i 7)

Es pot veure que la  $T,ue$  del Gràfic 9 i Taula 5, per exemple, disminueix respecte el valor actual. Això significa que hi ha una disminució del volum de sobreeximent, com es demostra a l'apartat següent (4.4  $V_{Que}$ ), però al ser àrees més petites i que per tant, engloben un volum més petit de sobreeximent, aquesta disminució no es veu reflectida en el nombre de dies amb sobreeximent (Gràfic 38 i Taula 4). S'observa una breu disminució en la  $T,ue$  dels SUDS però que no és prou significativa perquè es redueixin el nombre de dies o perquè hi ha més d'un sobreeximent al dia.

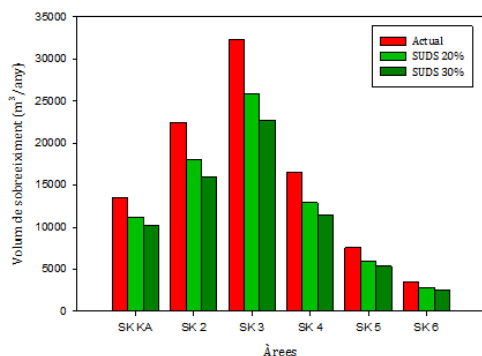
Probablement, el que influeix a l'absent reducció del nombre ni dels dies amb sobreeximent són els dos errors en el disseny del sistema de drenatge.

El primer, és la poca alçada que hi ha entre el terra i el sobreexidor que és de 0.2m, quan normalment la mida estàndard és entre 1m i 2m(itwh), per tant tot i reduir el volum de sobreeximent la diferència d'alçada és tant petita que fins i tot amb pluges de baix volum de seguida s'hi pot esdevenir un sobreeximent. I el segon, és el breu  $Q_{ab}(l/s)$ , límit de cabal que pot transportar un col·lector, que tenen aquestes dues àrees. Aquest hauria de ser més

elevat per les hectàrees que engloba i això provoca que de seguida el col·lector estigui apunt d'entrar en càrrega i que l'aigua hagi de sobreeixir.

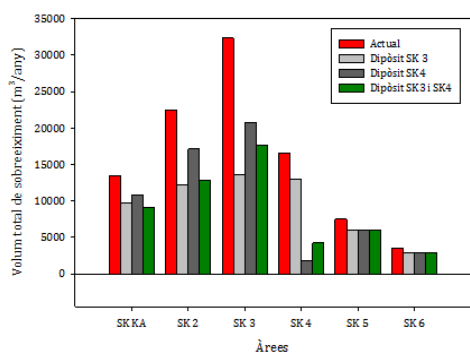
#### 4.4. *VQue* o volum total de sobreeiximent

És el volum total de sobreeiximent ( $m^3$ ) que presenta cada una de les àrees durant l'any 2012-2013. L'objectiu és reduir el màxim el volum de sobreeiximent, atès que la causa principal de provocar un impacte negatiu als rius per les aigües residuals contaminades.



Àrea	Actual	20% SUDS	%millora	30% SUDS	%millora
SK KA	13446	11214	16,60	10177	24,31
SK 2	22435	18085	19,39	16001	28,68
SK 3	32357	25830	20,17	22719	29,79
SK 4	16540	12886	22,09	11428	30,91
SK 5	7549	6003	20,48	5336	29,32
SK 6	3496	2826	19,16	2521	27,89
<b>Total</b>			<b>19,65</b>		<b>28,48</b>

Gràfic 12 i Taula 8. Volum total de sobreeiximent ( $m^3$ /any) pels models amb 20% i 30% de SUDS per l'any 2012-2013



Àrea	Actual	SK3	%millora	SK4	%millora	SK3 i SK4	%millora
SK KA	13446	9673	28,06	10772	19,89	9160	31,88
SK 2	22435	12282	45,26	17130	23,65	12784	43,02
SK 3	32357	13649	57,82	20776	35,79	17694	45,32
SK 4	16540	13039	21,17	1859	88,76	4247	74,32
SK 5	7549	6002	20,49	6002	20,49	6002	20,49
SK 6	3496	2826	19,16	2826	19,16	2826	19,16
<b>Total</b>			<b>31,99</b>		<b>34,62</b>		<b>39,03</b>

Gràfic 13 i Taula 9. Volum total de sobreeiximent ( $m^3$ /any) pels models amb 20% de SUDS i la construcció de dipòsits de retenció a SK3, SK4 i SK3 i SK4.

S'observa que hi ha una disminució molt significativa del volum de sobreeiximent tant pels models amb SUDS, entre un 20 i un 30% de reducció (Gràfics 12 i Taula 8), com pels models amb dipòsits de retenció, on els percentatges de millora encara són més elevats,

destacant el model amb dipòsits a SK3 i SK4, el qual presenta una mitjana del 40% (Gràfic 13 i Taula 9).

Amb els resultats es pot identificar l'important paper que juguen els SUDS en l'atenuació del volum de sobreiximent atès que, com es representa al *Gràfic 12* i *Taula 8* més de la meitat del percentatge de disminució es pot relacionar a la implantació del 20% de SUDS.

Els volums de sobreiximent de les àrees SK5 i SK6 no varien després de construir els dipòsits de retenció (Gràfic 13 i Taula 9) atès que, l'aigua flueix pel sistema de drenatge de nord a sud i aquestes es troben situades a la part nord, és a dir abans de les àrees on s'ha dissenyat la construcció dels dipòsits. Per tant, no noten la influència dels tancs de retenció i és per això que només es percep una breu disminució provocada pels SUDS.

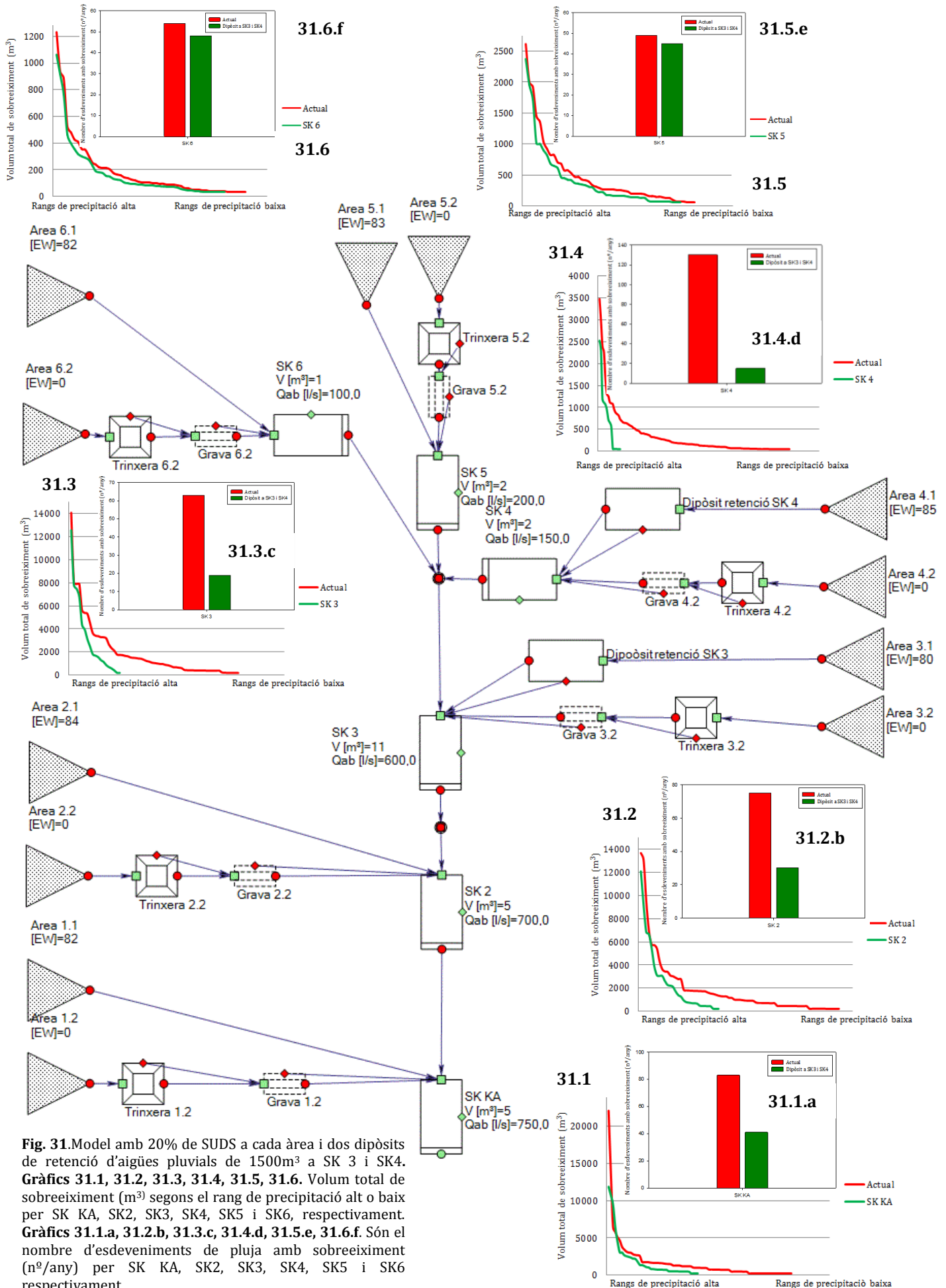
Després d'analitzar i observar els resultats anteriors es podria confirmar que el model més eficient respecte la reducció de qualsevol paràmetre és el que considera una implantació d'un 20% de SUDS a cada àrea i la construcció de dos dipòsits de 1500m<sup>3</sup> a les àrees SK3 i SK4.

Finalment, després d'haver seleccionat el model més eficient s'ha volgut observar com influiria la disposició d'aquest model, per una banda en el nombre d'esdeveniments o d'episodis de pluja amb sobreiximent durant l'any 2012-2013. I per l'altre, quin és l'efecte sobre el volum de sobreiximent segons diferents rangs de pluja és a dir, per esdeveniments més extrems però menys freqüents i per esdeveniments amb menys volum de precipitació i més freqüents. (Fig. 31)

Com s'observa, per rangs amb precipitacions altes o extremes aquests sistemes, SUDS i tancs de retenció, atenuen molt breument els volums de sobreiximent, com s'observa als gràfics que les dues línies, actual i model seleccionat, per rangs de precipitació alta tenen els mateixos valors.

En canvi, hi ha una disminució molt significativa en el nombre d'episodis de pluja amb sobreiximent per rangs de precipitació baixa, sobretot en les dues àrees on hi ha construïts els dos dipòsits, les qual són les que actualment el volum de vessament és més elevat. És pot observar als gràfics de barres, que amb el mateix nombre d'episodis de pluja el nombre de sobreiximents ha disminuït molt significativament. Per les àrees SK5 i SK6, es pot tornar a observar que els resultats tornen a ser poc significatius pels possibles motius de disseny i dimensió de l'àrea esmentats anteriorment.





**4.5. Pressupost per la implantació de SUDS i de dipòsits de retenció d'aigües pluvials.**

S'ha estudiat el pressupost aproximat<sup>2</sup> que suposaria dur a terme al municipi de La Garriga la proposta de model que inclou un 20% de SUDS i dos dipòsits de retenció d'aigües pluvials de 1500m<sup>3</sup> cada un, en aquest cas d'uns 10.905.750€ (Taula 10)

<b>Llambordins vegetals o ecològics permeables</b>	
<b>Equipament</b>	<b>Preu(€)</b>
Extracció dels revestiments anteriors (incloent l'eliminació)	$75.780\text{m}^2 \times 0,6\text{m} = 45.468\text{m}^3$ (25€/m <sup>3</sup> ) $25 \times 45.468 = 1.136.700\text{€}$
Llambordins vegetals o ecològics permeables ( <i>rasengittersteine</i> ). Incloent la capa de terra vegetal de recobriment i el teixit de protecció	$75.780\text{m}^2$ (25€/m <sup>2</sup> ) $75.780 \times 25 = 1.894.500\text{€}$
<b>Total</b>	<b>3.031.200€</b>
<b>Teulades unides a una trinxera amb grava</b>	
<b>Equipament</b>	<b>Preu(€)</b>
Extracció dels revestiments anteriors (incloent l'eliminació)	$75.780\text{m}^2 \times 0,8\text{m} = 60.624\text{m}^3$ (25€/m <sup>3</sup> ) $25 \times 60.624 = 1.515.600\text{€}$
Sistema de teulades unit a trinxeres amb grava ( <i>Mulden-Rigole-System</i> ). Inclou la instal·lació de les canonades que connecten la trinxera amb la teulada i les que connecten amb el sistema de drenatge	$75.780\text{m}^2$ (27,5 €/m <sup>2</sup> ) $27,5 \times 75.780 = 2.083.950\text{€}$
<b>Total</b>	<b>3.599.550€</b>
<b>Dipòsits de retenció d'aigües pluvials</b>	
<b>Equipament</b>	<b>Preu (€)</b>
Extracció dels revestiments anteriors (incloent l'eliminació)	$1.500\text{m}^3 \times 2 = 3.000\text{m}^3$ (25€/m <sup>3</sup> ) $25 \times 3.000 = 75.000\text{€}$
Dipòsits de retenció d'aigües pluvials	Dipòsit de retenció: 1.400€/m <sup>3</sup> $3.000 \times 1.400 = 4.200.000\text{€}$
<b>Total</b>	<b>4.275.000€</b>
<b>PRESSUPOST TOTAL</b>	<b>10.905.750€</b>

**Taula.10.** Aproximació dels pressuposts totals per la implementació dels SUDS (llambordins vegetals o ecològics permeables i teulades unides a trinxeres amb grava) i dels dos dipòsits retenció d'aigües pluvials de 1500m<sup>3</sup>.

S'observa que és una inversió relativament elevada per un municipi com La Garriga amb 15.500 habitants, s'ha de tenir en compte que són preus alemanys i es pot suposar que invertir en tecnologia catalana és més barat. Aquest però, és totalment acceptable atès que, en un futur molt proper la legislació restringirà el nombre de sobreiximent a l'any, un nombre que La Garriga sobrepassar i per tant, s'hauran de proposar possibles solucions per disminuir-ho. Si es compara amb un pressupost aproximat que suposaria construir una nova xarxa de clavegueram amb col·lectors de diàmetres més grans, tapar sobreixidors per construir-los a més alçada,... aquest és entre 40.000.000€ a 80.000.000€, un pressupost inabastable pel municipi. A més els SUDS, aporten un benefici extra atès que, és una aposta ecològica que procura pel medi ambient i el seu ben estar.

<sup>2</sup> Els preus són extrets del Ministeri de Desenvolupament Urbà i Medi Ambient d'Alemanya (Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt), i tenen inclosos els salaris de la mà d'obra.

## 5. Conclusions

During this project the drainage system of La Garriga was analysed in detail, to evaluate the actual situation and propose solutions to reduce the problems that are associated: like the urban flooding and the wastewater outfalls.

We have opted for an ecological and innovative tool, the Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) complemented with storm tanks and we have had significant results in the sewer system.

During my stay in Hannover (Germany) in the company Itwh I have learnt to create and simulate some sewer system's models of La Garriga. Then I used the results to choose the best zone to build a storm tank.

Observing our results we, are confirming that SUDS influences the issue of the drainage system in a positive and beneficial way. The following reasons are: permitting to infiltrate some rain water into the soil, increasing during the initial process the water volume entering to the conduits, helping to prevent that the conduits getting in too much pressure which causes outfalls. Finally, they are contributing in an ecological benefit to the environment, because they are helpful within the natural water cycle when the water infiltrates. They are also recuperating the aquifers and creating green zones used like a decorative elements.

If SUDS are complemented with storm tanks, the improving percentage increases. The best results were made with the scenario, which is contains 20% of SUDS in each area and two storm tanks with 1500m<sup>3</sup> of volume in areas SK3 and SK4.

Finally, after the budget analysis of the two types of SUDS and the storm tanks, we could explain that building two storm tanks will assume a higher budget (4.275.000€) as for any other type of SUDS (3.031.200€ permeable green paving and 3.599.550€ for the roof connected with a gravel swale) and we are achieving actually better results when we were using SUDS only. As we evaluated the total benefits of SUDS we could see that they have lower costs, they could reduce the issues in a good percentage, they could offer static values in the urban areas, like green zones used for entertainment and they could be used as an integrated element of city-nature.

In account with the global scenario selected to implement SUDS and storm tanks, we could say that reducing the outfalls, which will be restricted by law about the number and the volume of outfalls in a near future, the proposed model with 20% of SUDS and two storm tanks is the best option with benefits for the environment, despite the price.

## 6. Referències bibliogràfiques

Ajuntament de Badalona. (2013). *Dipòsit de regulació d'aigües pluvials de l'Estrella*. Recuperat de [www.badalona.cat](http://www.badalona.cat)

Ajuntament de La Garriga (2004), *Pla Director de Clavegueram de La Garriga*, La Garriga

Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt. (2012). *Dezentrale naturnahe Regenwasserbewirtschaftung*. Hamburg: Erneuerbare Energien & Umweltschutz

Butler D., Davies J.W., (2000). *Urban Drainage*. London: E&FN SPON

Carratalà J., Hernández P. (2012) *Instalaciones hidráulicas avanzadas*[apunts acadèmics] Universidad de Las Palmas de Gran Canaria]

Clavegueram de Barcelona (CLABSA). *Dipòsit de Joan Miró*. Recuperat de [www.clabsa.es](http://www.clabsa.es)

Fuchs L. (2008). *Introduction into Urban Drainage*. Hannover: Itwh

Fuchs L. (2008). *Sustainable Stormwater Management: Ambition and Motivation*. Hannover: Wasser Hannover. Zentrum für nachhaltiges Wassermanagement

Hao X., Novontny V., Nelson V. (2010). *Water Infrastructure for Sustainable Communities: China and the World*. London: IWA Publishing

Institut d'Estadística de Catalunya (2012). *Pluviometria. Precipitació anual de La Garriga*. Recuperat des de [www.idescat.cat](http://www.idescat.cat)

Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie. ITWH. (2014). *Hystem-Extran 2D: Urban flash floods – Calculation of Flooding and Hazard Analysis* (1ra ed.). Hannover: itwh.

Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie. ITWH (2014). *Itwh: Services for urban drainage* (1ra ed.). Hannover: itwh.

Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie. ITWH (2014). *KOSIM: Dimensioning and verification of storage buildings* (1ra ed.). Hannover: itwh.

Montserrat Royuela, Albert. *Towards better management of combined sewer systems: a methodology based on low-cost monitoring* [en línia]. Girona. Universitat de Girona. Departament de Ciències, 2015 [Consulta: 1 de juliol 2015]

Montserrat, A., Gutierrez, O., Poch, M., Corominas, L. (2013). Field validation of a new low-cost method for determining occurrence and duration of combined sewer overflows. *Science of the Total Environment*, 463-464, 904-912

Oliveras, M. (2013) Particularitats climàtiques de La Garriga, *Revista del centre d'estudis de Granollers* (p. 201-2011). La Garriga

SF Better Streets. (2015). *A guide to making street improvements in San Francisco*. Recuperat de [www.sfbetterstreets.org](http://www.sfbetterstreets.org)

Stadtentwässerung Hannover (2000). *Water Concept Kronsberg: Ecological Optimisation Kronsberg*. Hannover: Hannover.

United States. (2015). *Environmental Protection Agency*. Recuperat de [www.epa.gov](http://www.epa.gov)

Vojinovic Z., Huang J. (2014). *Unflooding Asia: The Green Cities Way*. Filipines: Asian Development Bank.

Werner P., Röstel G., Fuchs L., Stefan C. (2011) *Integrated water resources management in Vietnam: Handbook for a sustainable approach*. Germany: IWAS Vietnam.