



SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE: APLICACIÓN PRÁCTICA A UN TRAMO DE LA DIAGONAL DE BARCELONA.

Autora:

ANA ISABEL ABELLÁN GARCÍA

Director:

DR. FÉLIX FRANCÉS GARCÍA

PRESENTACIÓN

Primera parte: Revisión del estado del arte

- Objetivos de los SDUS
- Tipos
- Eliminación de contaminantes
- Criterios de diseño

Segunda parte: Aplicación práctica

- La zona de estudio
- Implementación SWMM
 - Hidrología
 - Modelo hidráulico
 - Simulación LID
 - Calidad del agua
- Resultados





¿Qué son los SDUS?

SDUS/BMPs' / MPC

Gestión de la escorrentía urbana

↓ Caudal

↓ Contaminantes

Objetivos de los SDUS

↓ Inundaciones

↑ Paisaje ↓ Costes ↑ Medio Ambiente

MEJORAR LA GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA

LAS TÉCNICAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE

MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

- **Sin actuación directa en la red**
- **Sin construcción**

MEDIDAS ESTRUCTURALES

- **Planeamiento urbanístico**
- **Infraestructuras**



MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

**Educación ciudadana
Limpieza viaria
Evitar contacto con
contaminantes
Control de vertidos**



Fuente: susdrain.org

Ejemplo de educación ciudadana en calles de Inglaterra

MEDIDAS ESTRUCTURALES

- Infiltración
- Retención
- Filtración
- Con vegetación
- Detención

- Control en origen
- Control de los vertidos

- ÁREAS DE BIORRETENCIÓN
- CUBIERTAS VEGETADAS
- CUNETAS VERDES
- DEPÓSITOS DE LLUVIA
- DEPÓSITOS ENTERRADOS DE DETENCIÓN
- DEPÓSITOS SUPERFICIALES DE DETENCIÓN
- DEPÓSITOS Y ESTANQUES DE INFILTRACIÓN
- DRENES FILTRANTE O FRANCESSES
- ESTANQUES DE RETENCIÓN
- ESTRUCTURAS DE DETENCIÓN MULTIFACÉTICAS
- FILTROS DE ARENA
- FRANJAS FILTRANTE
- HUMEDALES ARTIFICIALES
- POZOS Y ZANJAS DE INFILTRACIÓN
- SUPERFICIES PERMEABLES





Fuente: susdrain.org

ÁREAS DE BIORRETENCIÓN

Filtración/ Con vegetación
Control en vertido



Rendimiento

- Reducción del caudal punta: MEDIO
- Reducción de volumen: MEDIO (alto con infiltración)
- Tratamiento de calidad de agua: BUENO
- Potencial beneficio social/urbana: BUENO
- Potencial ecológico: MEDIO





Fuente: susdrain.org

PAVIMENTO PERMEABLE

Infiltración
Control en origen



Rendimiento

- Reducción del caudal punta: BUENO
- Reducción de volumen: BUENO
- Tratamiento de calidad de agua: BUENO
- Potencial beneficio social/urbana: BAJO
- Potencial ecológico: BAJO





CUNETAS VERDES

Infiltración
Control en vertido

Fuente: susdrain.org



Rendimiento

- Reducción del caudal punta: MEDIO
- Reducción de volumen: MEDIO
- Tratamiento de calidad de agua: BUENO
- Potencial beneficio social/urbana: MEDIO/BUENO
- Potencial ecológico: MEDIO



ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN LOS SDUS

CONTAMINANTES

- SS
- MO
- Patógenos
- Nutrientes
- Metales Pesados

FUENTES

- Deposición atmosférica
- Tráfico
- Obras en la calle
- Parques y jardines
- Basuras y excrementos animales





ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES

- Adsorción

Pozos y zanjas de infiltración, Estanques

- Sedimentación

Cunetas Verdes, Áreas de Biorretención

- Filtración/Biofiltración

Pavimentos permeables, Filtros arena

- Biodegradación

A. Biorretención, Humedales

- Volatilización

Humedales, Estanques

- Bioacumulación

Humedales, Áreas de Biorretención

CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

ESCENARIO PARA TRAZAR UN SDUS EFICAZ EN LA PROTECCIÓN DE LOS ENTORNOS SOCIAL Y AMBIENTAL

FACTORES CEDEX

- Impactos en el entorno
- Control regional/ local
- Medio receptor
- Factores físicos
- Usos del suelo
- Ambientales y sociales
- Capacidad de gestión
- Normativa

CRITERIOS CIRIA

- Hidráulicos
- Calidad del agua
- Sociales
- Ambientales
- Operatividad/ Mantenimiento

ÍNDICES DAYWATER

- Características del lugar
- Científico/tecnológicos
- Mantenimiento
- Ambientales
- Sociales/Urbanos
- Económicos
- Legales

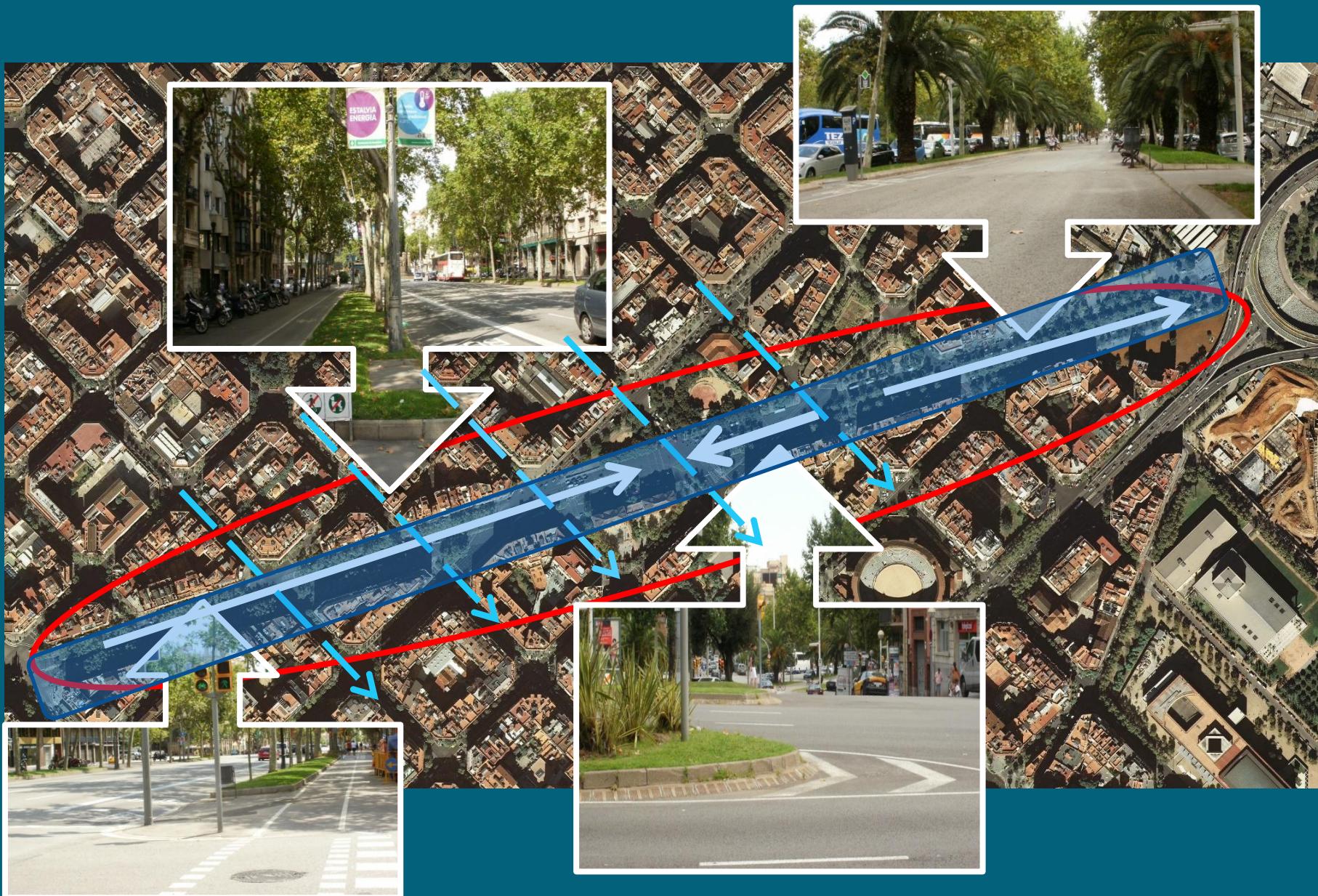


UNA APLICACIÓN PRÁCTICA DE SDUS EN LA DIAGONAL

Segunda parte: Aplicación práctica

- La zona de estudio
- Implementación con SWMM
 - Hidrología
 - Modelo hidráulico
 - Simulación LID
 - Calidad del agua
- Resultados

LA DIAGONAL DE BARCELONA



CASO DE ESTUDIO: LA DIAGONAL

- COLECTORES MUY GRANDES
- POZOS A \neq DISTANCIAS
- OTROS: - COMPUERTAS
- - SALTOS HIDRÁULICOS
- - PUNTOS SINGULARES

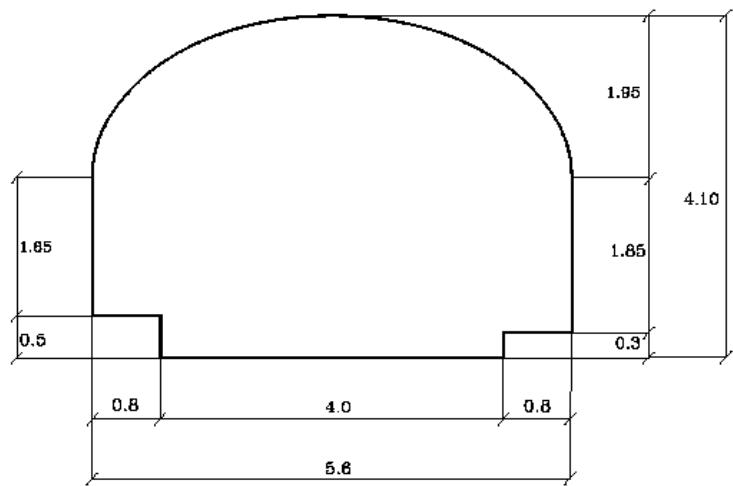
2

TRAMO 1

TIPUS NT1989

$S = 1989 \text{ dm}^2$

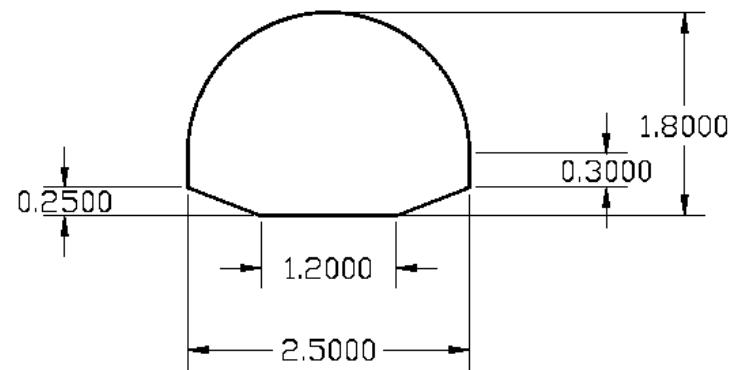
$P = 174 \text{ dm}$



TIPUS NT366

$S = 366 \text{ dm}^2$

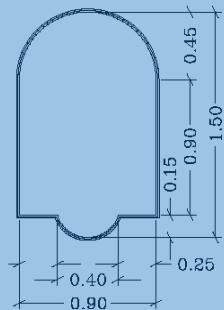
$P = 71.1 \text{ dm}$



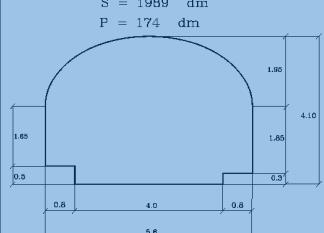
LA DIAGONAL CON SDUS



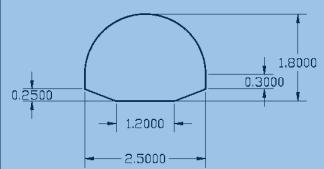
TIPUS T116B
S = 117 dm²
P = 43 dm



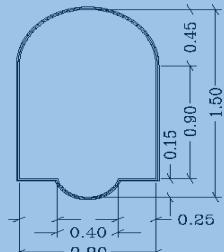
TIPUS NT1989
S = 1989 dm²
P = 174 dm



TIPUS NT366
S = 366 dm²
P = 71.1 dm



TIPUS T116B
S = 117 dm²
P = 43 dm



ELEMENTOS DE LA RED

RED DE DRENAJE ACTUAL



SOBRE-DIMENSIONAMIENTO
ERROR CALIDAD
DIFICULTADES COMPARATIVAS



SUSTITUCIÓN COLECTORES CON
TUBOS HORMIGÓN D=1000 mm

DIMENSIONAMIENTO
ESPECÍFICO PARA SDUS

HIDROLOGÍA

PARTICULARIDADES

- Cuencas pequeñas
- Impermeabilización elevada
- T_c cortos

METODOLOGÍA

- Delimitación de subcuencas.
- Hietograma bloques alternos.
- Intercepción/Infiltración/Evaporación
- Selección SDUS
- Simulaciones SWMM 5.0.022.

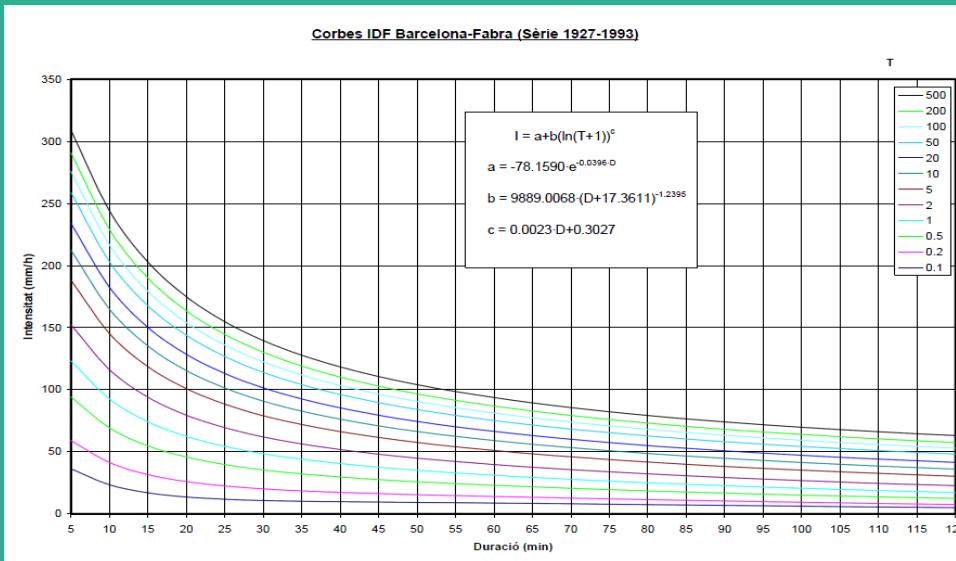


HIDROLOGÍA

CUENCAS

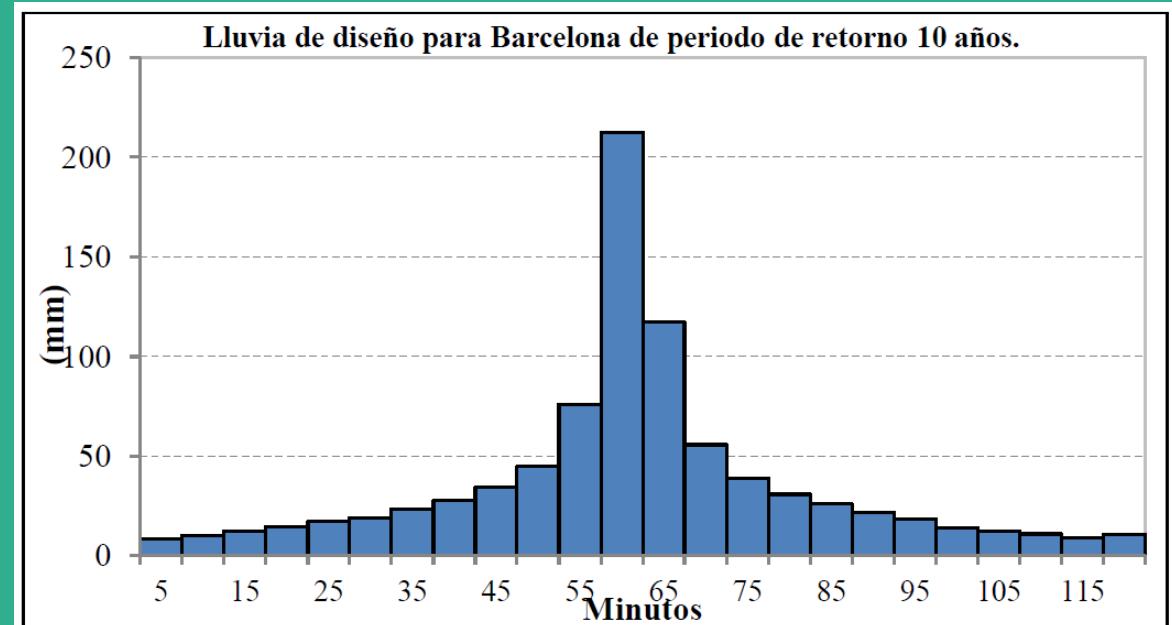


PLUVIOMETRÍA



Curvas de Intensidad - duración -frecuencia (IDF) para Barcelona según la serie del observatorio Fabra..

Hietograma de bloques alternos de una precipitación con un periodo de retorno de diez años y dos horas de precipitación para la ciudad de Barcelona



PARAMETRIZACIÓN DE PROCESOS HIDROLÓGICOS

INFILTRACIÓN : GREEN-AMPT

- **Modelo sencillo**
- **Estudia la infiltración independiente a otras pérdidas**

INTERCEPTACIÓN

- **Almacenamiento en depresiones**
- **Difícil estimación**
- **Diferentes valores con/sin SDUS**

EVAPORACIÓN

- **Tiempo de simulación corto  0**

HIDRÁULICA

EL MODELO HIDRÁULICO EN SWMM 5.0.022

- Flujo Uniforme
- Onda Cinemática
- Onda Dinámica

METODOLOGÍA
HIPÓTESIS DE PARTIDA

MODELO DE TRABAJO: ONDA DINÁMICA

ELEMENTOS DE LA RED DE DRENAJE

- Tubos de diámetro 1 metros
- Tubos PVC de 600mm

- Flujo Uniforme

Eq. Manning. Muy simple

- ## • Onda Cinemática

Variabilidad temporal del flujo

Eq. S-V: Gravedad+fricción

- ## • Onda Dinámica: S-V Completas

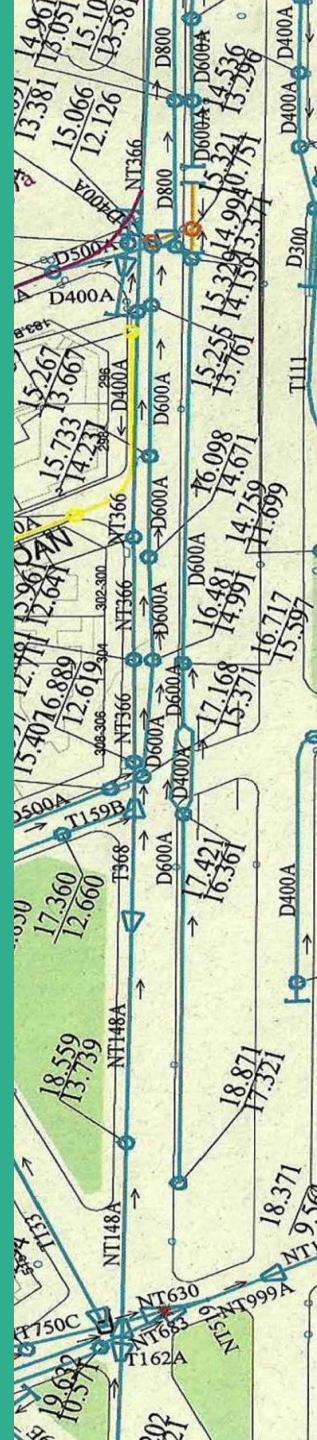
Términos de Saint Venant

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g (I_o - I_f) = 0$$

Onda cinemática

↔ Onda difusiva

↔ Onda Dinámica



METODOLOGÍA/HIPÓTESIS INICIALES

FLUJO GRADUALMENTE VARIABLE

UNIDIMENSIONAL

DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES: HIDROSTÁTICA

PENDIENTES REDUCIDAS

PÉRDIDAS DE E. → R. PERMANENTE

COND. CONTORNO: OUTFALL= C CRÍTICO

MODELO HIDRÁULICO EN SWMM

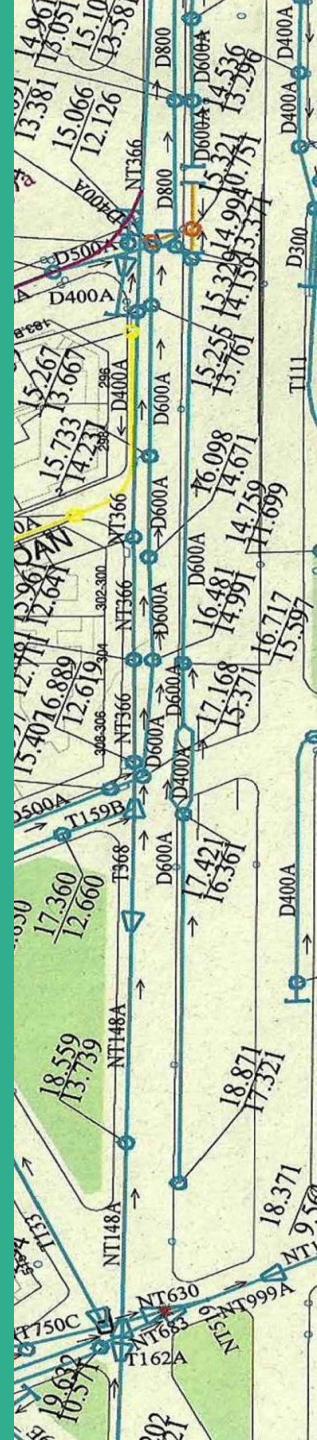
$$Q_{t+4t} = \frac{Q_t + \Delta Q_{gravedad} + \Delta Q_{inercia}}{1 + \Delta Q_{rozamiento}}$$

Balance de masas conductos

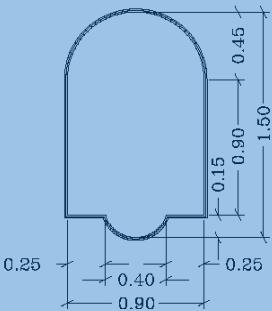
Balance de masas en nodos

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \sum Q_t \Delta t / A_{S_t}$$

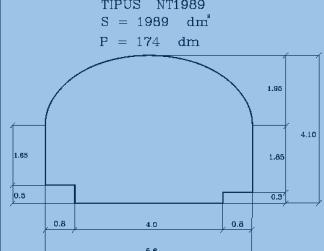
Tiempo de cálculo: 1 s
Términos inerciales: “Dampen”/”Ignore”
Valor Supercrítico: Pendiente+Froude
Flujo presión: Hazen-Williams



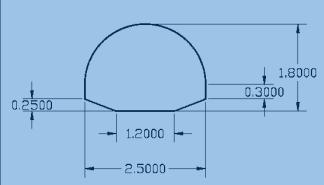
TIPUS T116B
S = 117 dm²
P = 43 dm



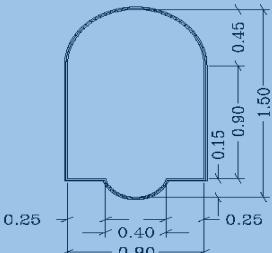
TIPUS NT1989
S = 1989 dm²
P = 174 dm



TIPUS NT366
S = 366 dm²
P = 71.1 dm



TIPUS T116B
S = 117 dm²
P = 43 dm



SIMULACIÓN HIDRÁULICA SWMM

**SUSTITUCIÓN RED CON TUBOS
HORMIGÓN D=1000 mm**
SE MANTIENEN:
**ELEMENTOS SINGULARES
POZOS/COTAS**

**DIMENSIONAMIENTO DE UNA NUEVA RED
PRESCRIPCIONES CLABSA:**

- El diámetro mínimo =600 mm (PVC)
- Mayor de 800 mm (hormigón).
- Separación entre arquetas =50 metros
- Velocidades <6m/s

**24 TUBOS PVC
PENDIENTES (1,2%-2%)
Manning= 0,011**

SELECCIÓN Y SIMULACIÓN DE LAS TDUS CON SWMM 5.0.022

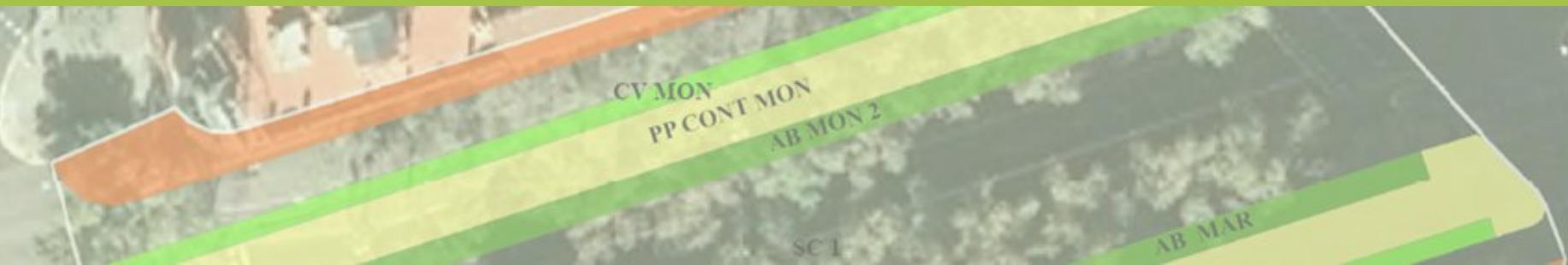
METODOLOGÍA

SELECCIÓN

- Criterios
- Factores relevantes
- Técnicas seleccionadas

SIMULACIÓN

- Ubicación TDUS en SC
- Definición capas
- Desarrollo TDUS en SC
- Resultados



SELECCIÓN TDUS

CRITERIOS TABLAS CIRIA/CEDEX

Factores relevantes

- Cuencas ≈ 1 ha.
- Pendientes $<5\%$.

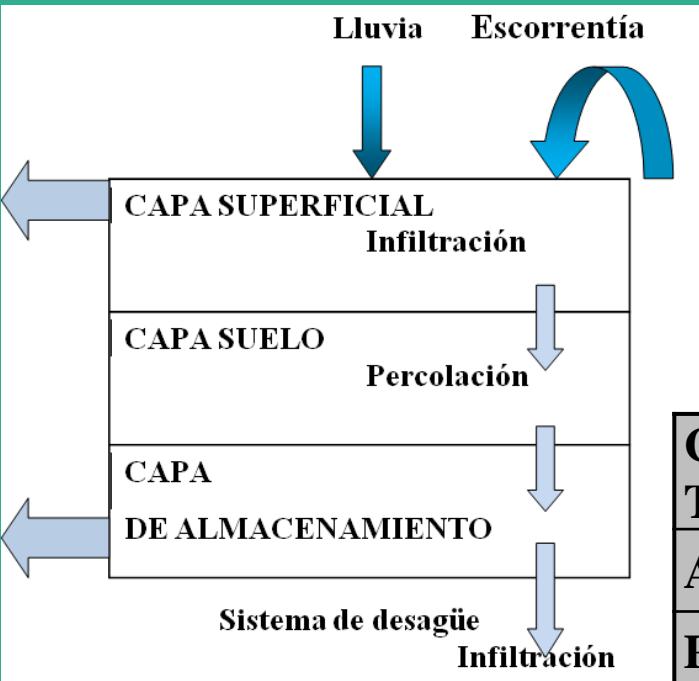
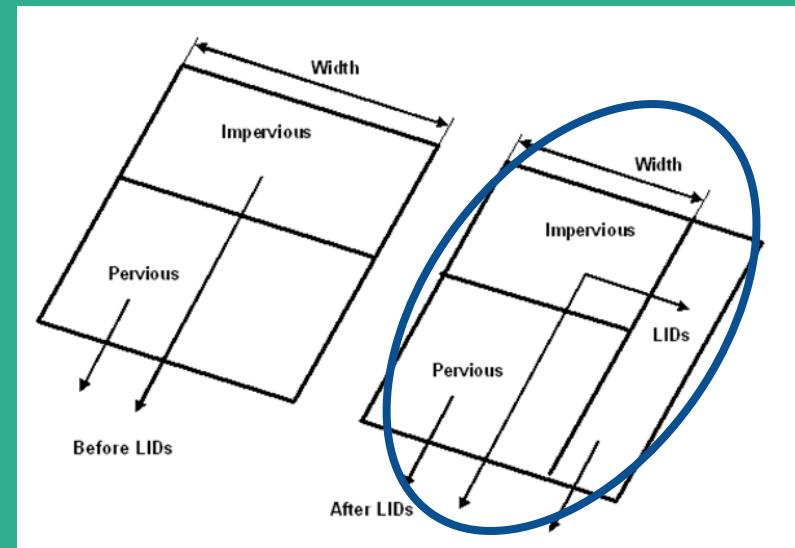
- Suelo urbano denso
- Impermeable
- Nivel freático $>10m$

- Pavimentos porosos: - Continuos
- Modulares
- Áreas de biorretención
- Cunetas verdes



SIMULACIÓN TDUS CON SWMM 5.0.022

- Combinación de TDUS dentro de SC
- Trabajo en paralelo

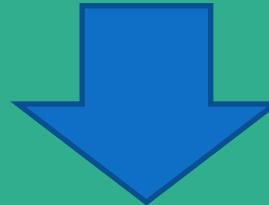


Capas/ TDSU	Superficie	Pavimento	Suelo	Almacen.	Desagüe
AB	X		X	X	0
PP	X	X		X	0
CV	X				

SIMULACIÓN TDUS CON SWMM 5.0.022

DESARROLLO DE LAS TDUS DENTRO DE CADA SUBCUENCA

TDUS	% ÁREA QUE OCUPA	%ÁREA IMPERMEABLE QUE TRATA	Nº DE UNIDADES	ÁREA DE CADA UNIDAD	ANCHO DEL FLUJO A LA SALIDA
------	------------------	-----------------------------	----------------	---------------------	-----------------------------



RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

SC	TDUS	CAUDAL ENTRANTE TOTAL	PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN	CAUDAL SUPERFICIAL DE SALIDA TOTAL	ALMACENA. FINAL	%ERROR
----	------	-----------------------	---------------------------	------------------------------------	-----------------	--------

CALIDAD DE LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA

METODOLOGÍA

- Identificar contaminantes.
- Definir usos del suelo.
- Funciones de acumulación y arrastre.
- % de reducción BMP.
- Simulaciones para la fase actual/prevista.



CONTAMINANTES (POLLUTANT)

CALIDAD

Contaminante	Concentración estimada en el agua de precipitación (mg/l)
TSS	8
DBO ₅	7
TP	0,001
TKN	0,02
TCu	0,001
TCr	0,001
TNi	0,001
TPb	0,001
TZn	0,001

Contaminantes en el agua de lluvia

Contaminantes acumulados en las calles

Contaminante	Porcentaje en Peso del Total de Sólidos (TSS)
TSS	100%
DBO ₅	14,5%
TP	0,06%
TKN	0,02%
TCu	0,01%
TCr	0,01%
TNi	0,02%
TPb	1,20%
TZn	0,15%

USOS DEL SUELO

RESIDENCIAL



COMERCIAL



TRÁFICO

SIN SDUS

CON SDUS

CALIDAD

Zonas impermeables:

- Aceras
- Calzada
- Pavimento peatonal

Zonas permeables:

- Franjas ajardinadas

Zonas impermeables:

- Calzada

Zonas permeables:

- Franjas ajardinadas
- Pavimento peatonal
- Aceras permeables

1 USO: URBANO

4 USOS:
URBANO/PP/AB/CV

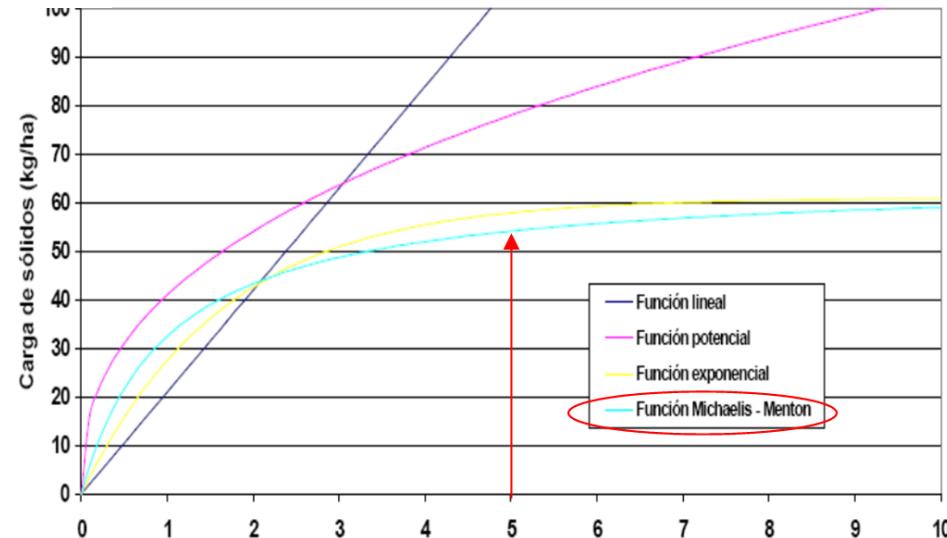
USOS DEL SUELO: DATOS DE ACUMULACIÓN

CALIDAD

Función Saturación

C_1 Acumulación máxima
 C_2 Constante semi-saturación

$$B = \frac{C_1 \cdot t}{C_2 + t}$$



Función de acumulación	SAT
Máxima acumulación posible (kg/ha)	150
Constante de saturación (días)	2,5
Variable de normalización	AREA

Modelo
Completo
Granollers
(Riera, 2008)

USOS DEL SUELO: DATOS DE ARRASTRE

Función Exponencial

$$W = c_1 \cdot q^{c_2} \cdot B$$

W: Carga de lavado

c₁ y **c₂**: Coeficientes de lavado

q: escorrentía

B: Contaminante acumulado

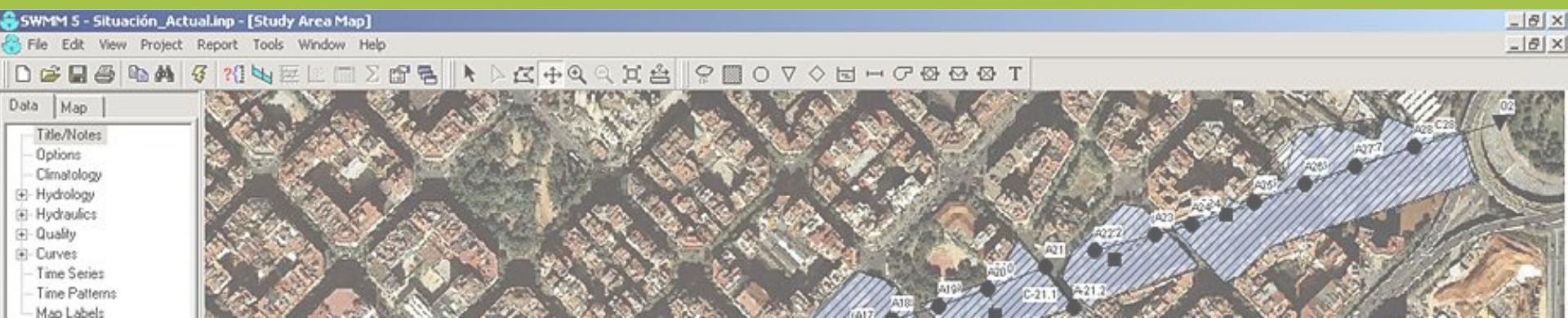
DATOS DE ARRASTRE DEL CONTAMINANTE

TSS FASE INICIAL

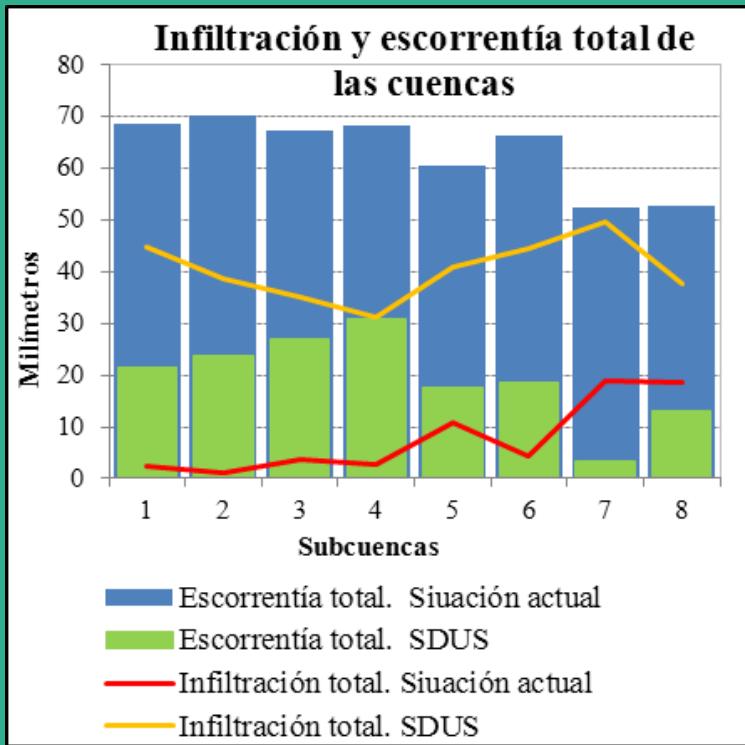
Función de arrastre	EXP
Coeficiente	0,072
Exponente	2,5
Eficiencia de la limpieza (%)	20
Eficiencia BMP (%)	0

Modelo
Completo
Granollers
(*Riera, 2008*)

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE CUENCAS



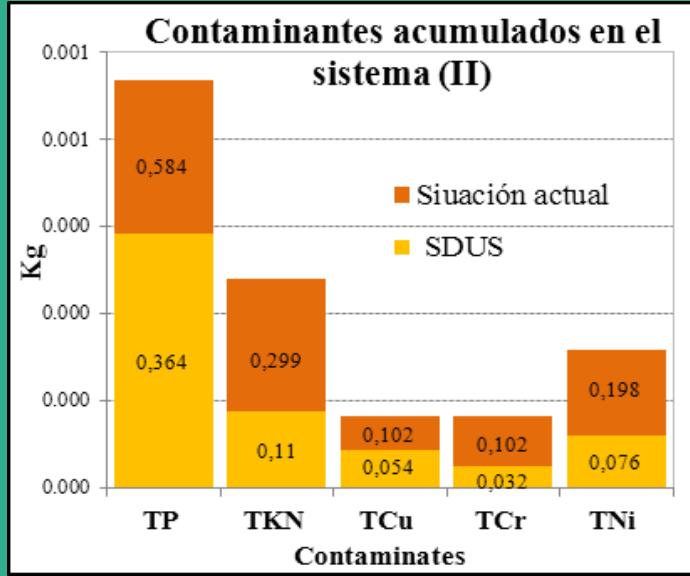
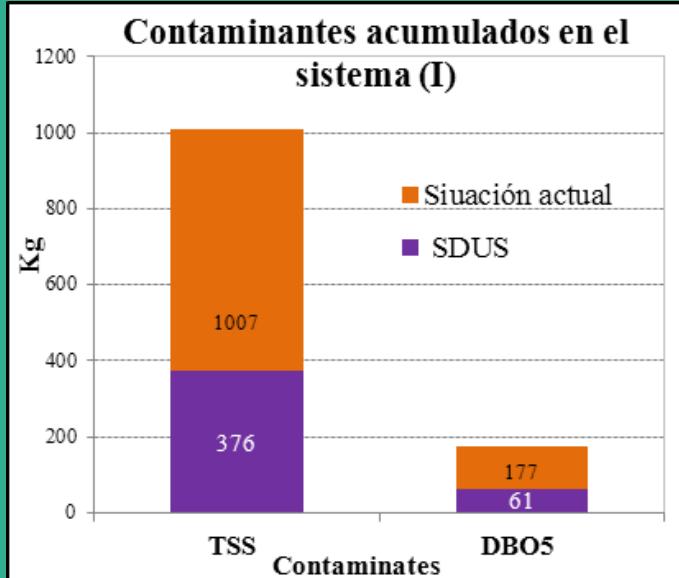
RESUMEN DE ESCORRENTÍA EN CUENCAS



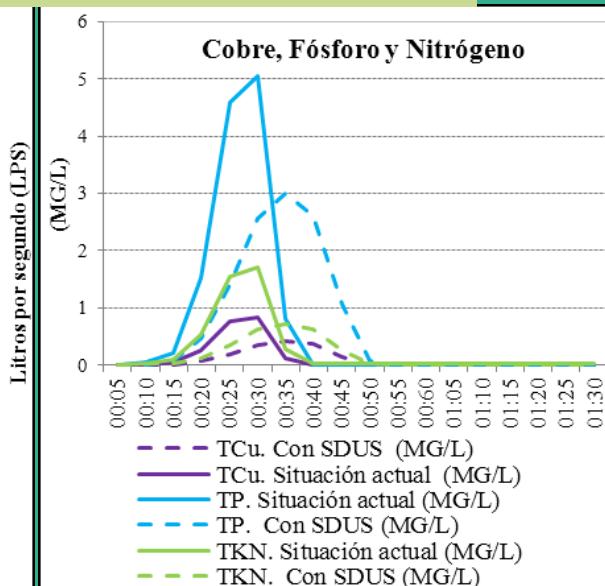
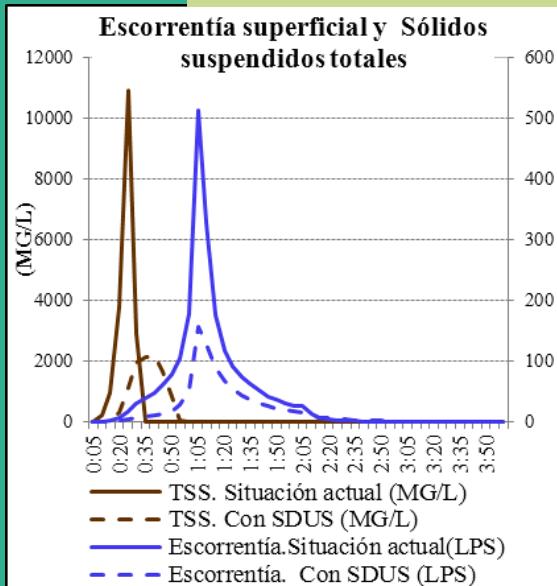
Sistema	Infiltración total (mm)	Escorrentía total (mm)	Caudal pico LPS	Coeficiente de escorrentía
Sistema de drenaje tradicional	7,83	63,255	405	0,88
Sistema de drenaje urbano sostenible	40,36	19,47	111,58	0,27
Variación	80,60%	69,23%	72,45%	69,24%



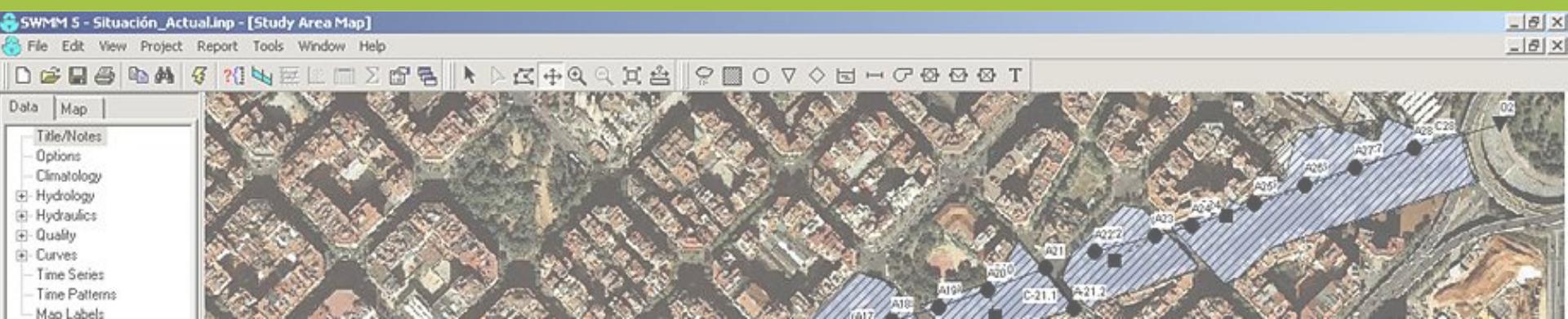
RESUMEN DE CALIDAD EN CUENCAS



Hidrogramas y polutogramas en SC6

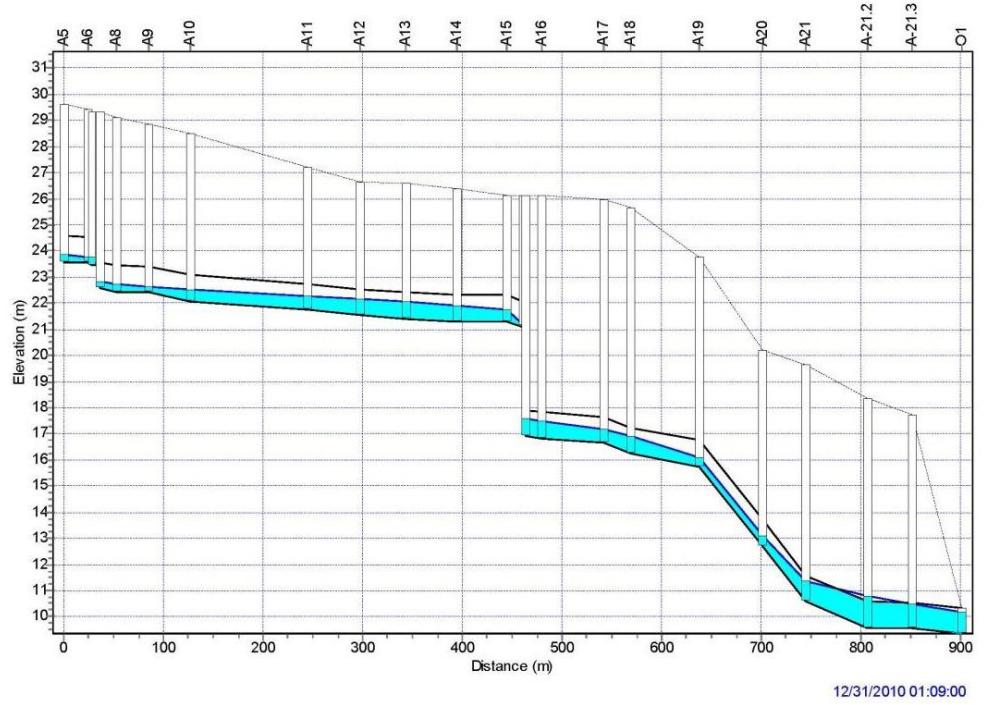


RESULTADOS DE SIMULACIONES CON LOS COLECTORES DE UN METRO DE DIÁMETRO



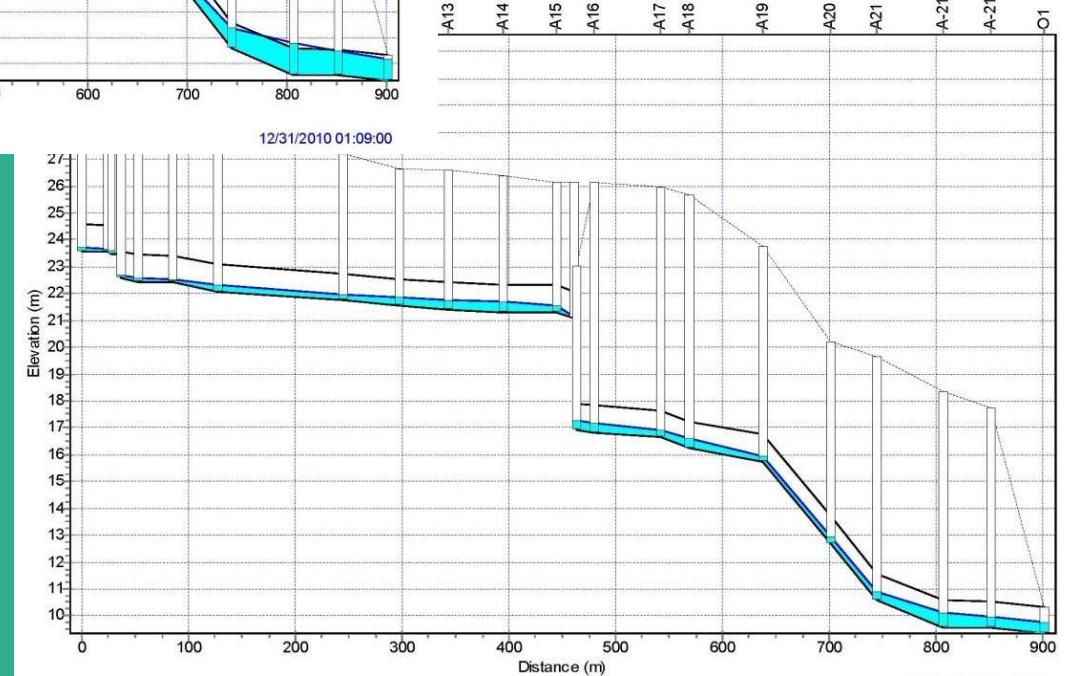
SIMULACIÓN HIDRÁULICA

PERFILES

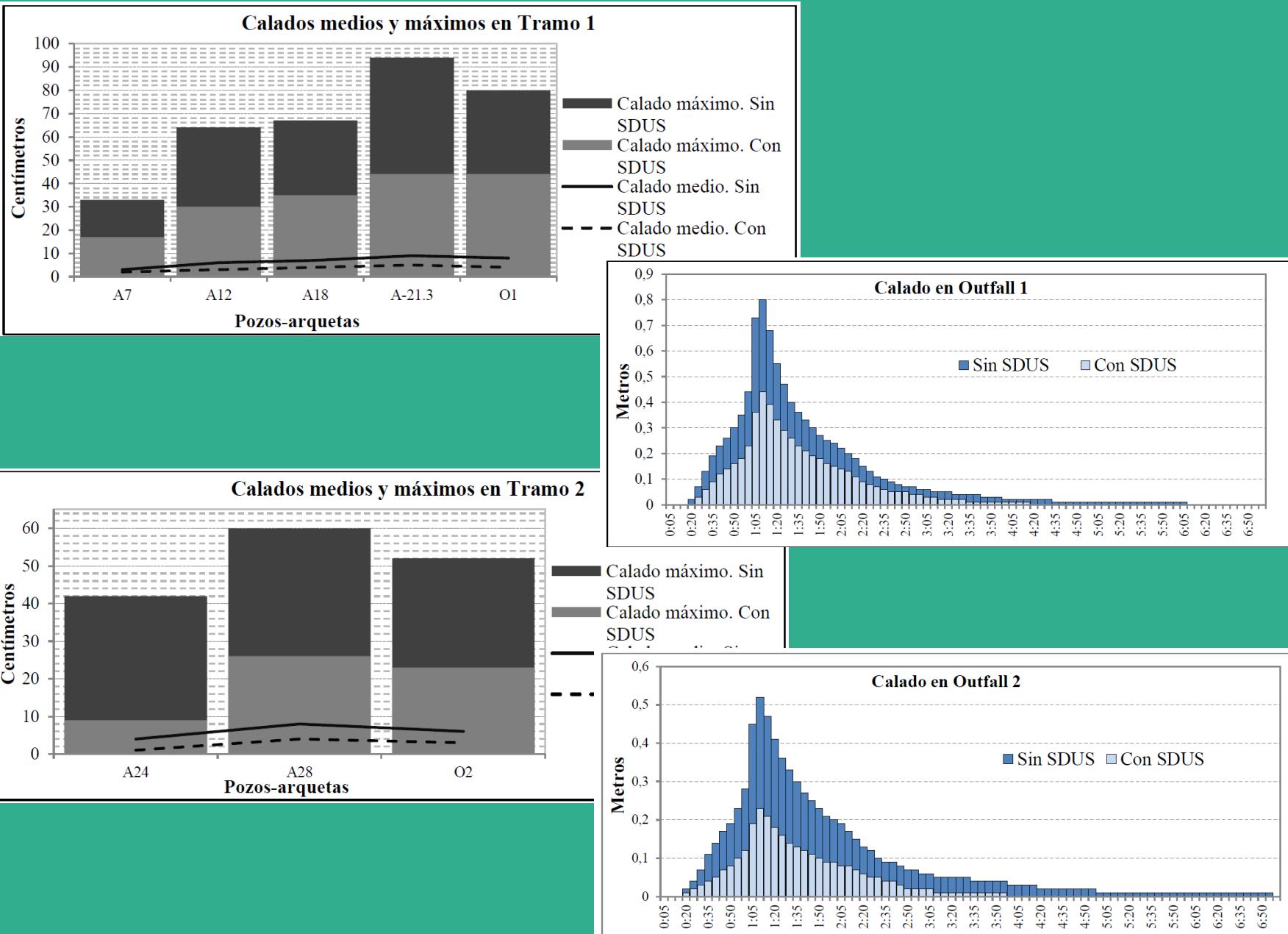


Sistema actual

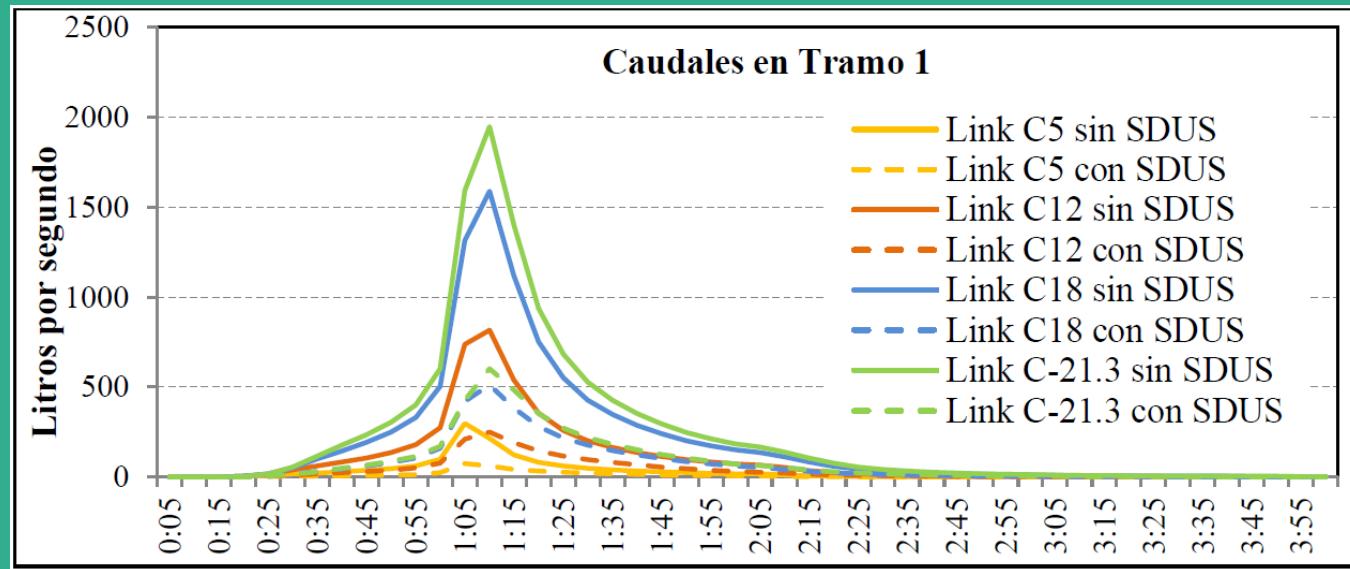
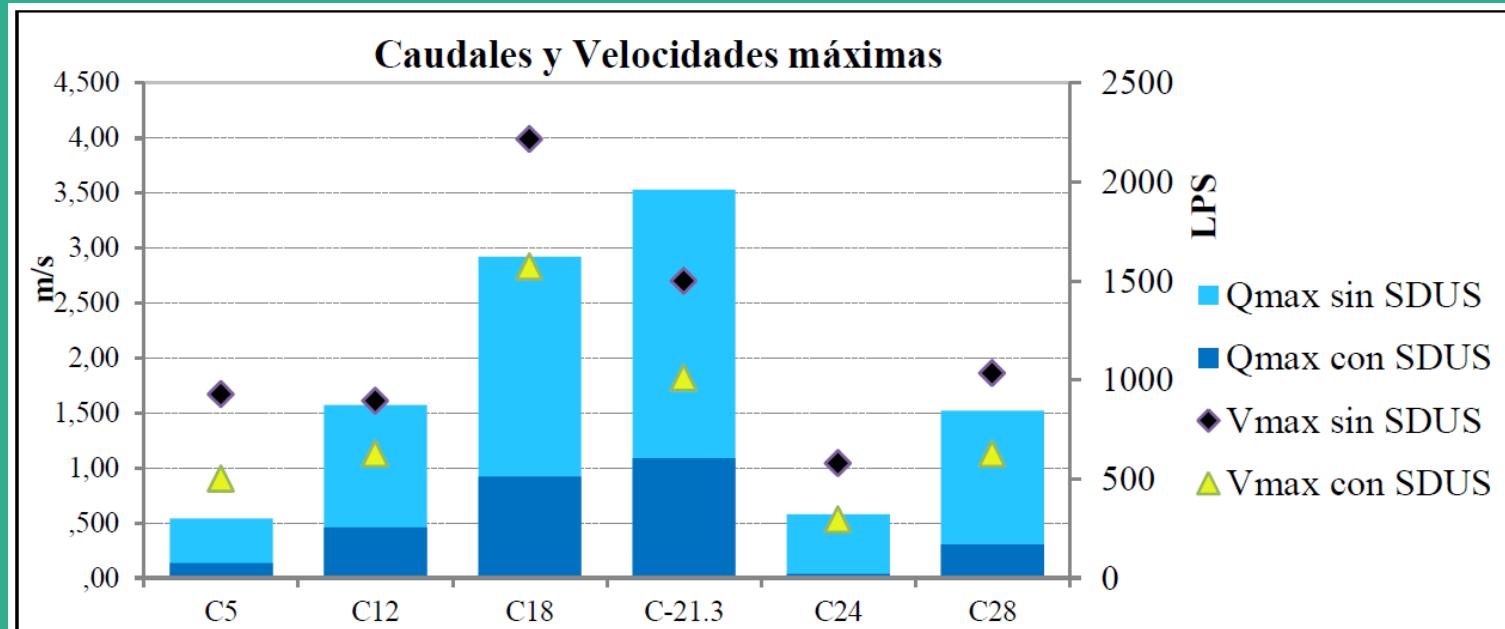
Con SDUS



RESUMEN POZOS

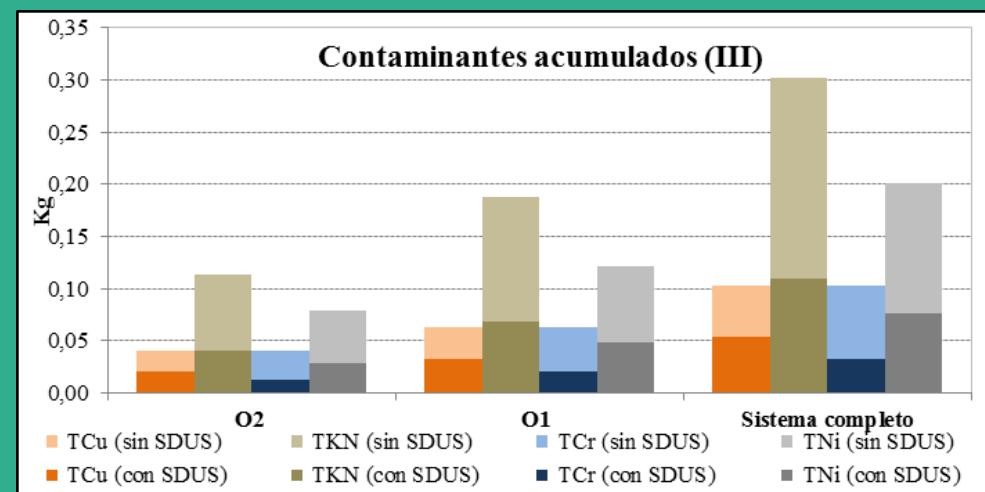
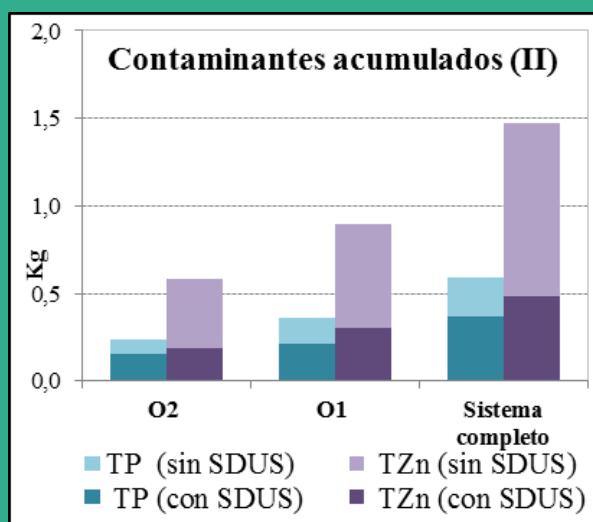
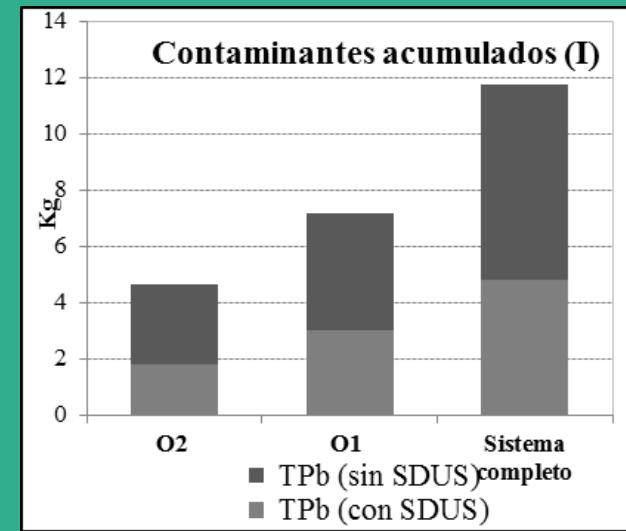
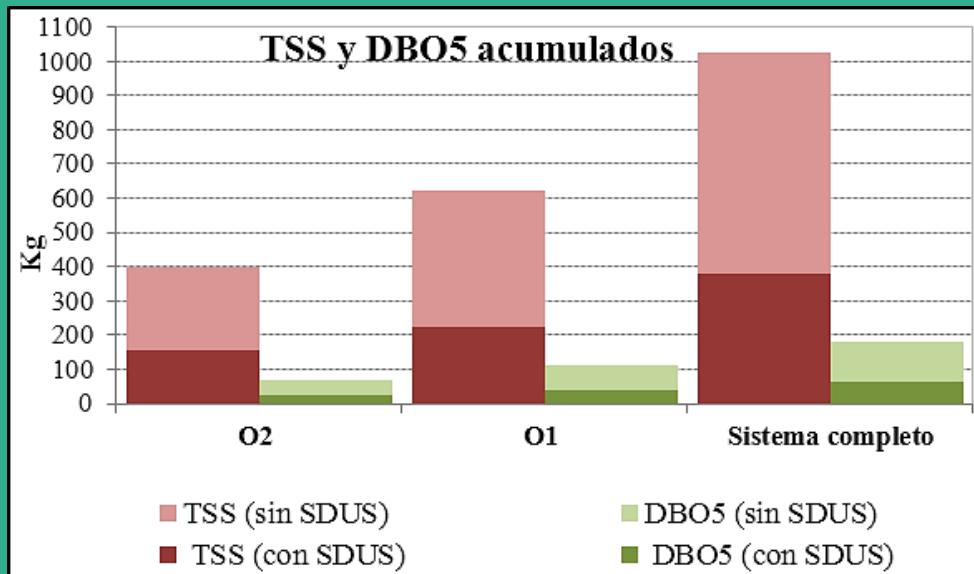


RESUMEN COLECTORES

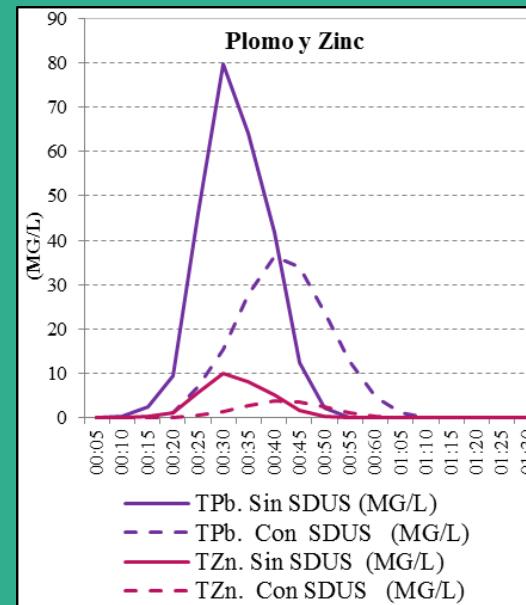
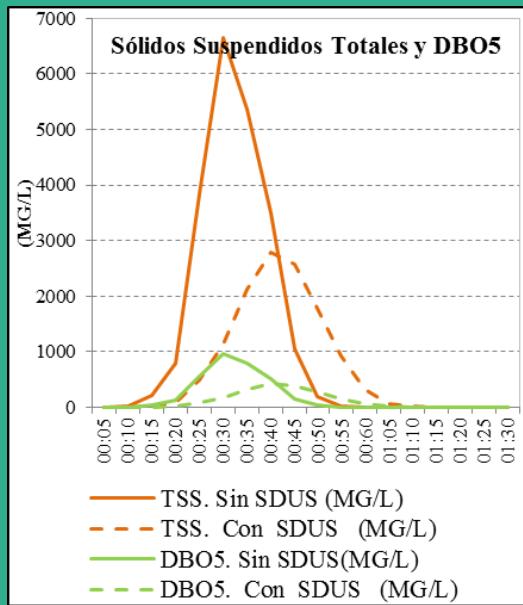


RESULTADOS CANTIDAD GLOBAL

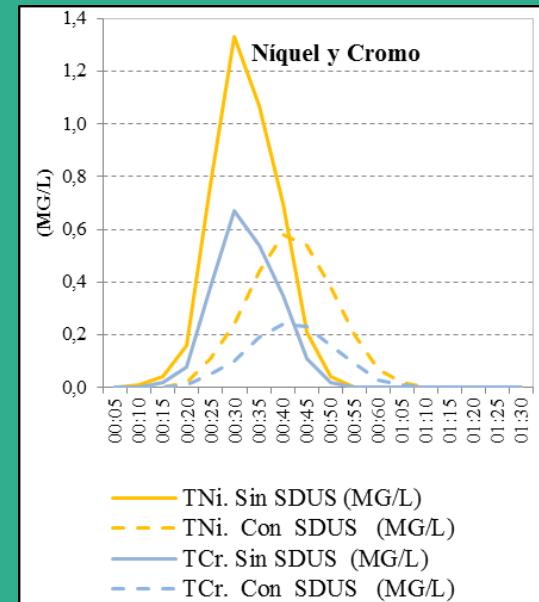
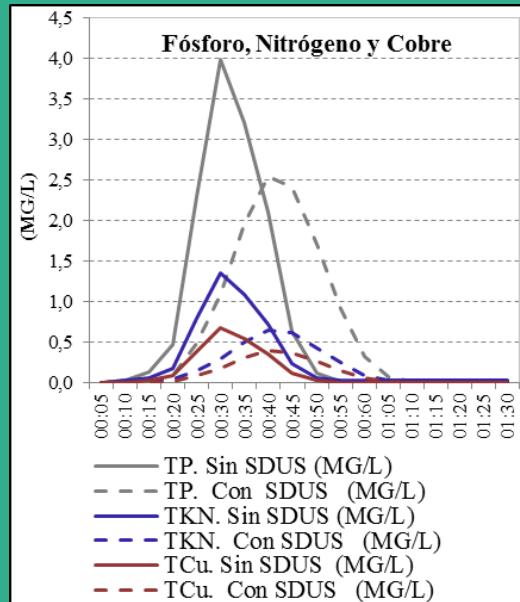
SIMULACIÓN CALIDAD



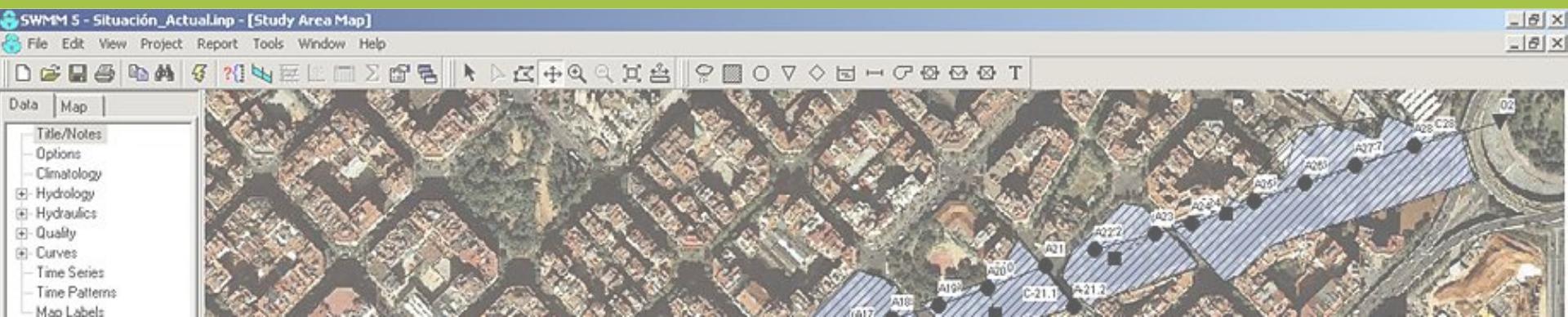
POLUTOGRAMAS



**Polutogramas en
último colector
de Tramo 1**

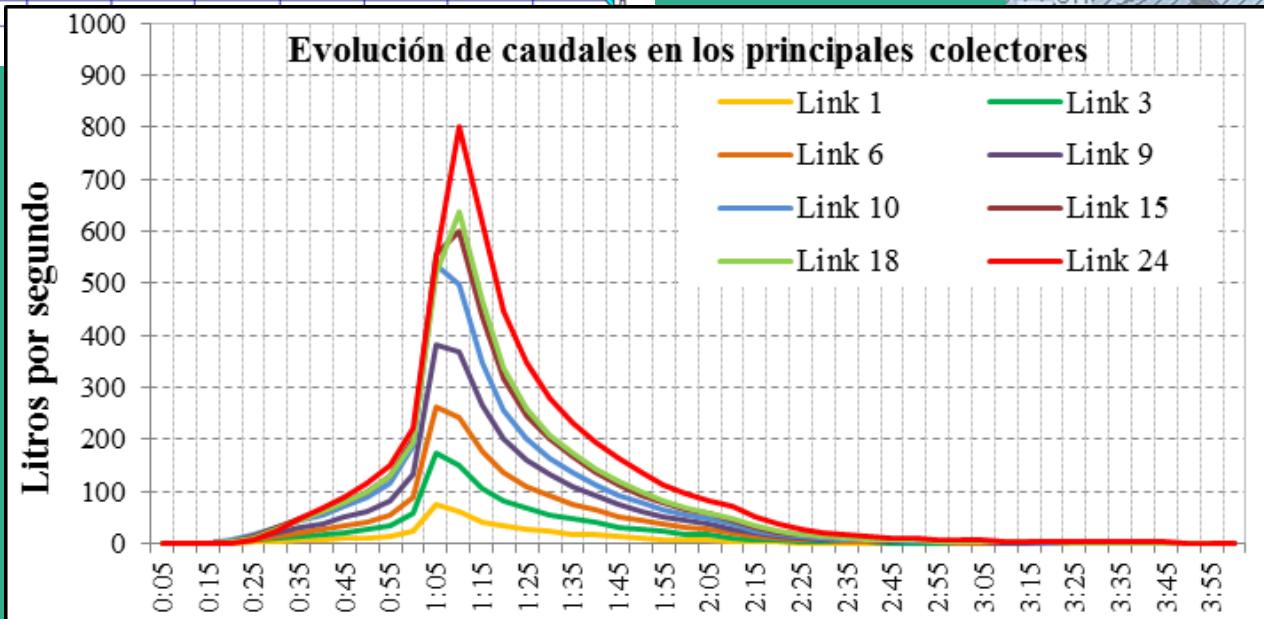
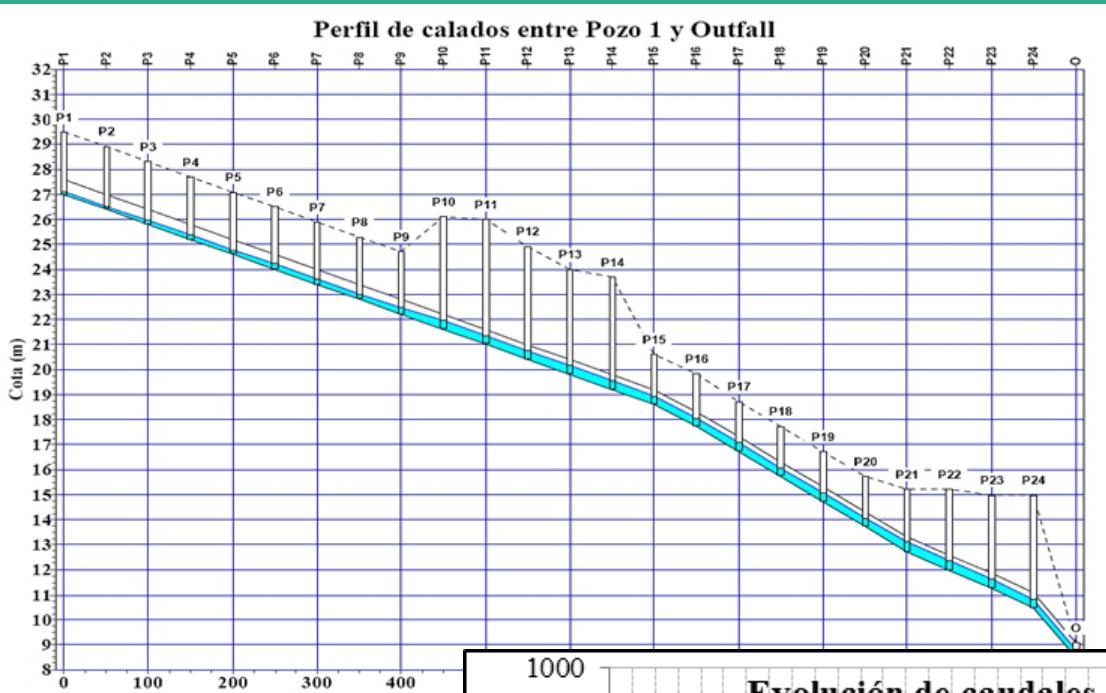


RESULTADOS DE SIMULACIONES CON LOS COLECTORES DE 600MM

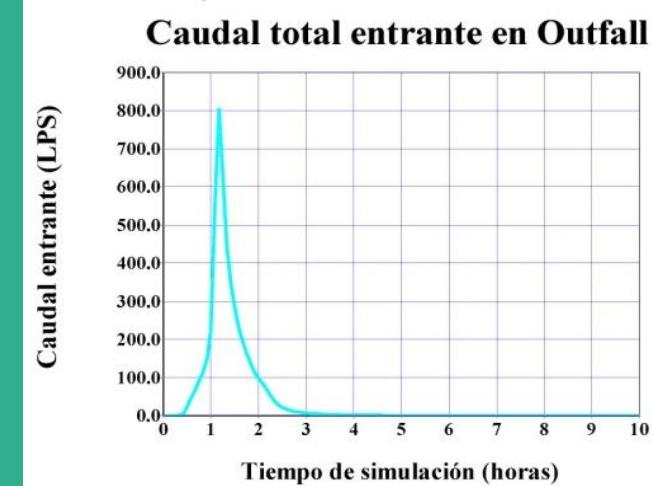


SIMULACIÓN CASO PROYECTADO

HIDRÁULICA-PERFIL



RESULTADOS EN OUTFALL



Sistemas de drenaje urbano sostenible: Aplicación práctica a un tramo de la diagonal de Barcelona

CONCLUSIONES



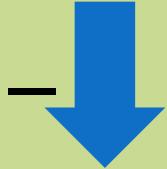
REVISIÓN AL ESTUDIO DEL ARTE

Control Cantidad/Calidad
Hidrológicas Ambientales/Sociales
Paisajísticas Económicas

- **BAJA IMPLANTACIÓN EN ESPAÑA:**
 - Falta de experiencia
 - Régimen de lluvias mediterráneo
 - Sin agencias específicas
 - Sin normativa
 - Baja colaboración

APLICACIÓN PRÁCTICA

- PUNTOS A CONSIDERAR:
 - Datos pluviométricos reales
 - Datos de calidad supuestos

- RESULTADOS:
 -  $Q/$  Calidad
 - Retardo hidrogramas y polutogramas

Primera estimación
Previsión de funcionamiento



**MUCHAS
GRACIAS POR
SU ATENCIÓN**