



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**mihma**

# 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 practica

- 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 FILTRANTES O FRANCESES
- ESTANQUES DE RETENCIÓN
- ESTRUCTURAS DE DETENCIÓN MULTIFACÉTICAS
- FILTROS DE ARENA
- FRANJAS FILTRANTES
- HUMEDALES ARTIFICIALES
- POZOS Y ZANJAS DE INFILTRACIÓN
- SUPERFICIES PERMEABLES





# ÁREAS DE BIORRETENCIÓN

Filtración/ Con vegetación  
Control en vertido

*Fuente: susdrain.org*

## 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**



# PAVIMENTO PERMEABLE

Infiltración  
Control en origen



*Fuente: susdrain.org*



## 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

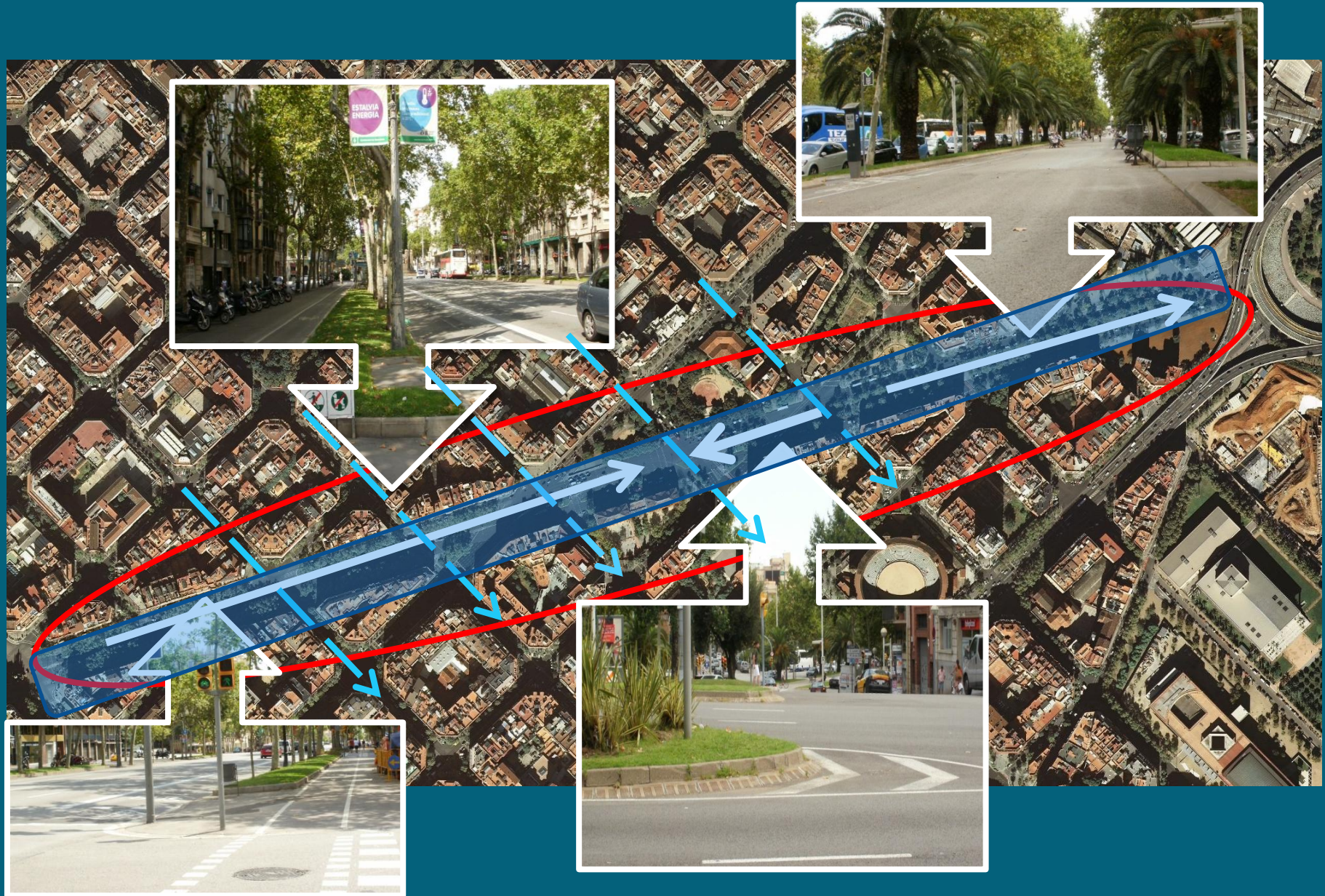


# UNA APLICACIÓN PRÁCTICA DE SDUS EN LA DIAGONAL

## 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

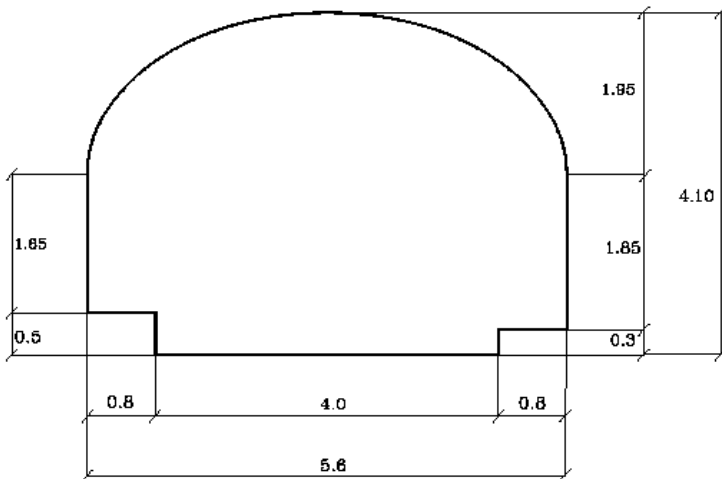
- **COLECTORES MUY GRANDES**
- **POZOS A  $\neq$  DISTANCIAS**
- **OTROS:** - **COMPUERTAS**
- - **SALTOS HIDRÁULICOS**
- - **PUNTOS SINGULARES**

TRAMO 1

TIPUS NT1989

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

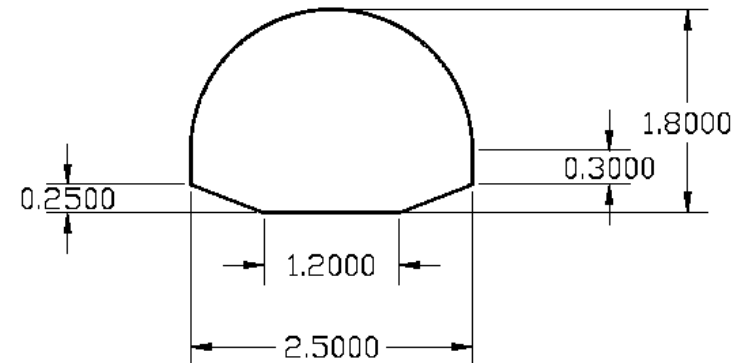
$P = 174 \text{ dm}$



TIPUS NT366

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

$P = 71.1 \text{ dm}$



# LA DIAGONAL CON SDUS

**24 TUBOS DE  
D=600MM  
24 POZOS  
1 LÍNEA**





# ELEMENTOS DE LA RED

**RED DE DRENAJE ACTUAL**



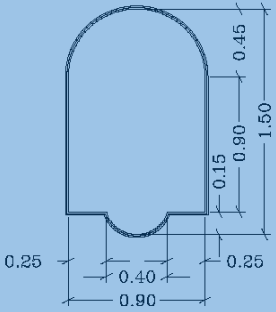
**SOBRE-DIMENSIONAMIENTO  
ERROR CALIDAD  
DIFICULTADES COMPARATIVAS**



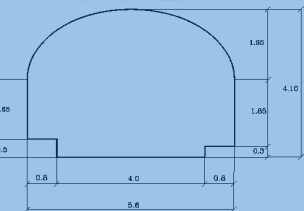
**SUSTITUCIÓN COLECTORES CON  
TUBOS HORMIGÓN D=1000 mm**

**DIMENSIONAMIENTO  
ESPECÍFICO PARA SDUS**

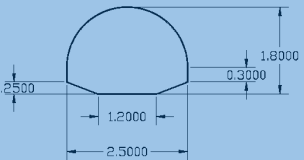
TIPUS T116B  
S = 117 dm<sup>2</sup>  
P = 43 dm



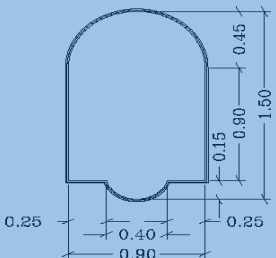
TIPUS NT1989  
S = 1989 dm<sup>2</sup>  
P = 174 dm



TIPUS NT366  
S = 366 dm<sup>2</sup>  
P = 71.1 dm



TIPUS T116B  
S = 117 dm<sup>2</sup>  
P = 43 dm



# 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.

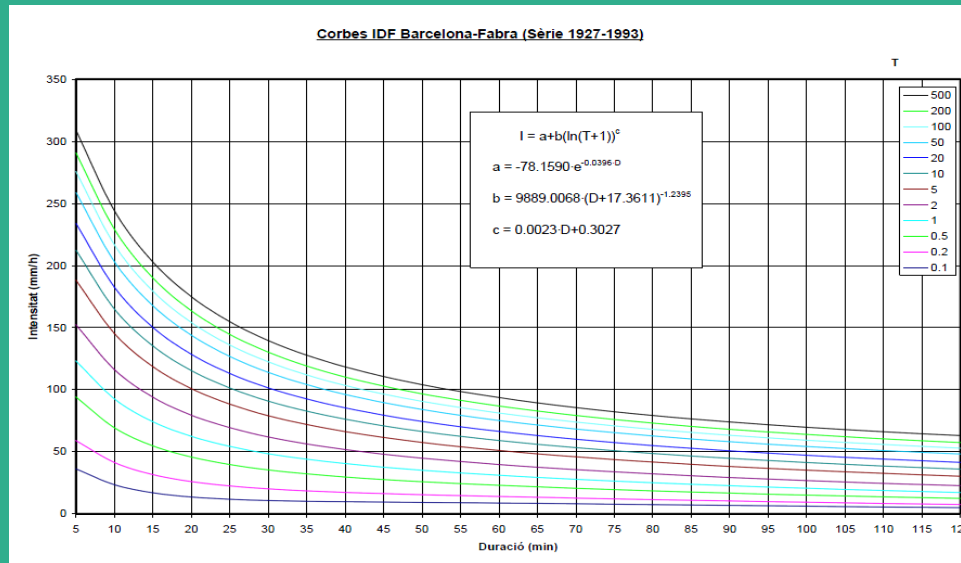


# CUENCAS

## HIDROLOGÍA

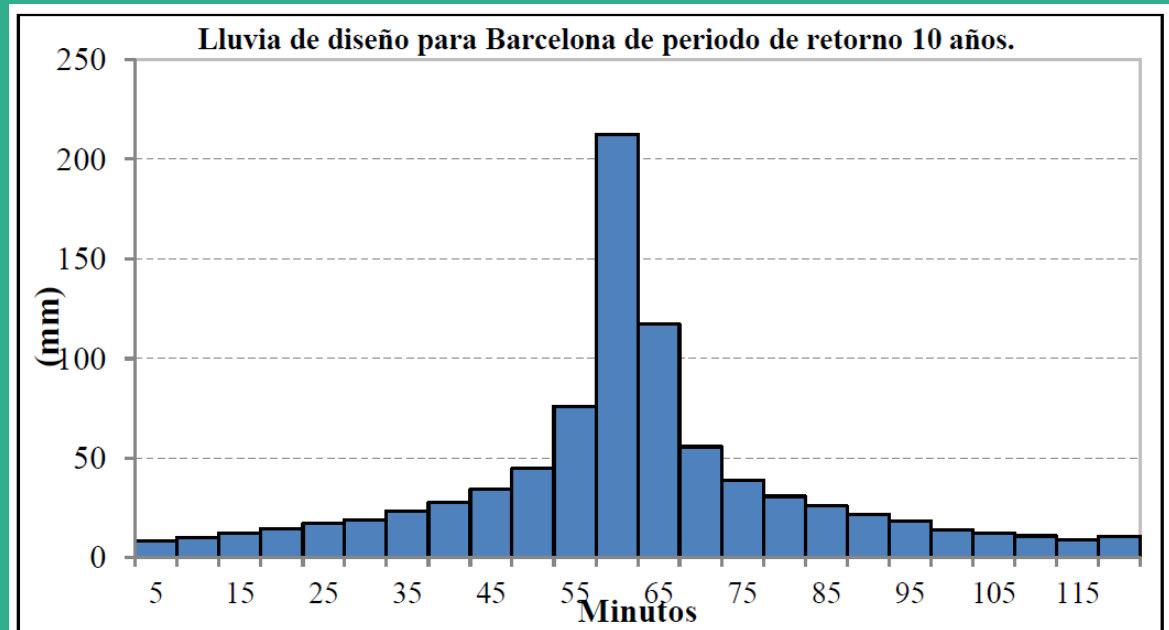


# PLUVIOMETRÍA



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

# EL MODELO HIDRÁULICO EN SWMM 5.0.022

- Flujo Uniforme

Eq. Manning. Muy simple

- Onda Cinemática

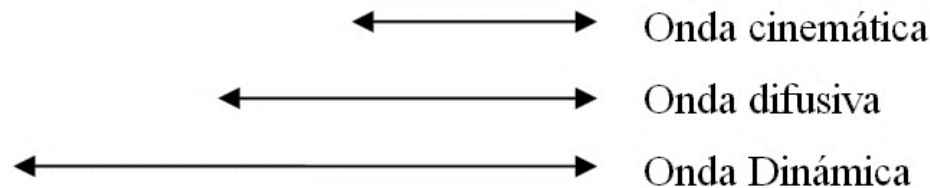
Variabilidad temporal del flujo

Eq. S-V: Gravedad+fricción

- Onda Dinámica: S-V Completas

## Términos de Saint Venant

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



# METODOLOGÍA/HIPÓTESIS INICIALES

FLUJO GRADUALMENTE VARIABLE

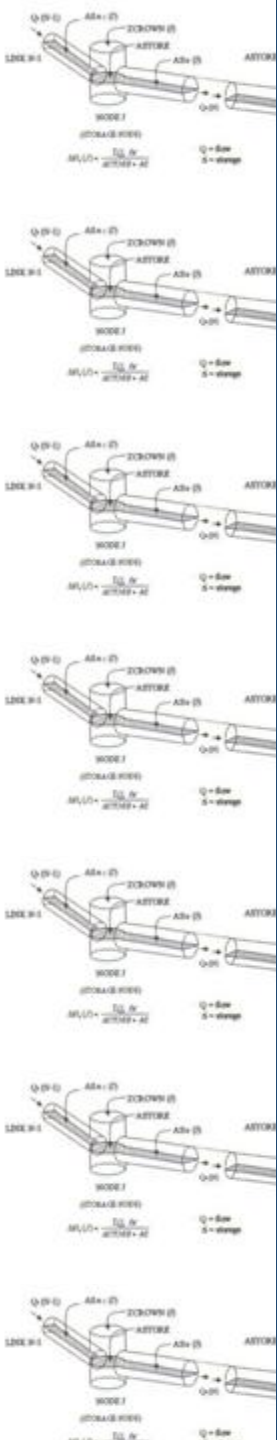
UNIDIMENSIONAL

DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES: HIDROSTÁTICA

PENDIENTES REDUCIDAS

PÉRDIDAS DE E.  $\rightarrow$  R. PERMANENTE

COND. CONTORNO: OUTFALL= C CRÍTICO





# MODELO HIDRÁULICO EN SWMM

ONDA DINÁMICA

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

Balance de masas  
conductos

Balance de masas  
en nodos

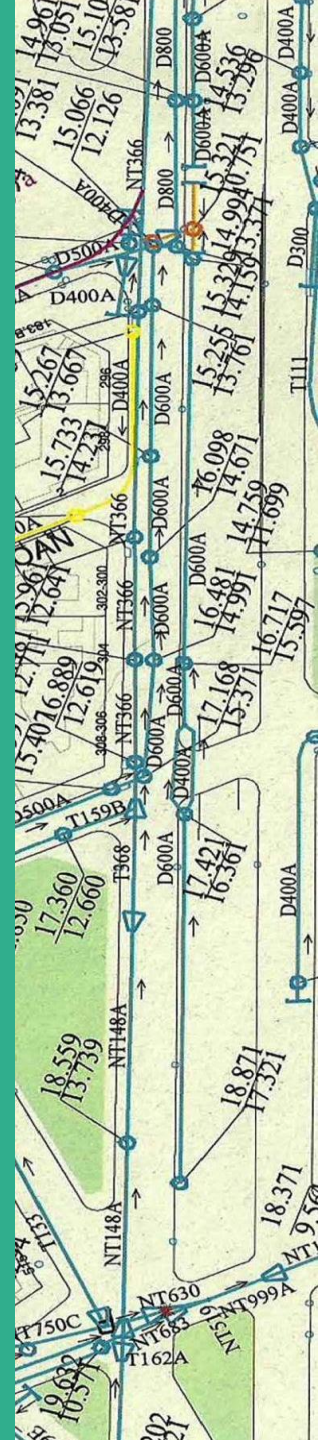
$$H_{t+\Delta t} = H_t + \sum Q_t \Delta t / A_{S_t}$$

Tiempo de cálculo: 1 s

Términos inerciales: "Dampen"/"Ignore"

Valor Supercrítico: Pendiente+Froude

Flujo presión: Hazen-Williams



# SIMULACIÓN HIDRÁULICA SWMM

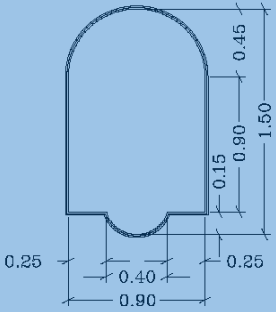
## SUSTITUCIÓN RED CON TUBOS HORMIGÓN D=1000 mm SE MANTIENEN: ELEMENTOS SINGULARES POZOS/COTAS

### DIMENSIONAMIENTO DE UNA NUEVA RED PRESCRIPCIONES CLABSA:

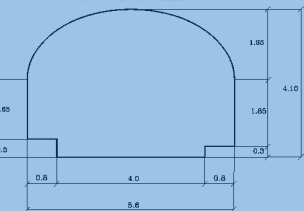
- El diámetro mínimo = 600 mm (PVC )
- Mayor de 800 mm (hormigón).
- Separación entre arquetas = 50 metros
- Velocidades < 6m/s

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

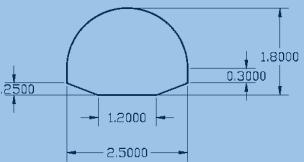
TIPUS T116B  
S = 117 dm<sup>2</sup>  
P = 43 dm



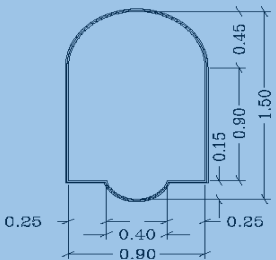
TIPUS NT1989  
S = 1989 dm<sup>2</sup>  
P = 174 dm



TIPUS NT366  
S = 366 dm<sup>2</sup>  
P = 71.1 dm



TIPUS T116B  
S = 117 dm<sup>2</sup>  
P = 43 dm



# 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

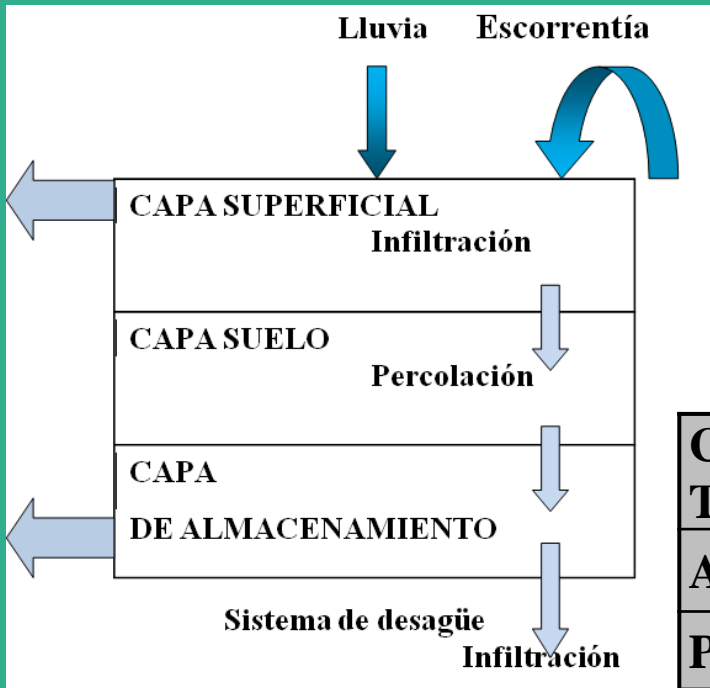
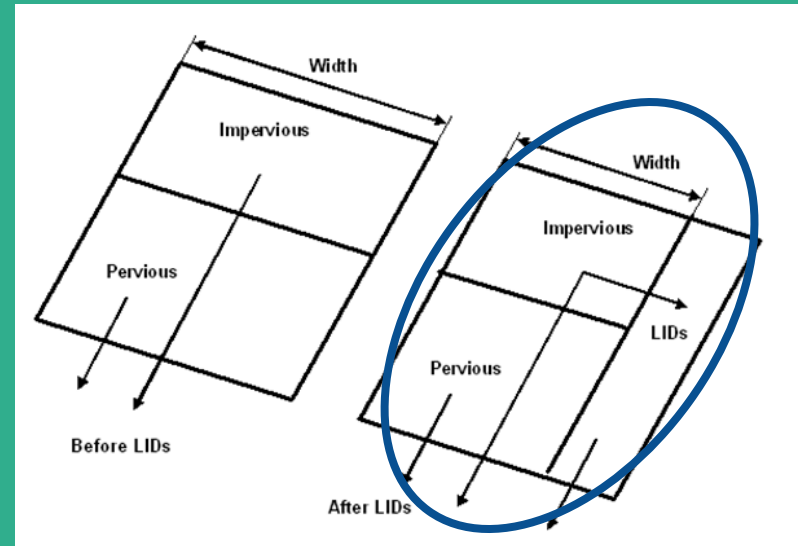
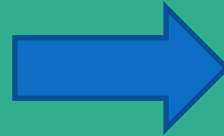
- Cuencas  $\approx$  1 ha.
- Pendientes  $<5\%$ .
- Suelo urbano denso
- Impermeable
- Nivel freático  $>10\text{m}$

- 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	Almacén.	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 <sub>5</sub>	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 <sub>5</sub>	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

## 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

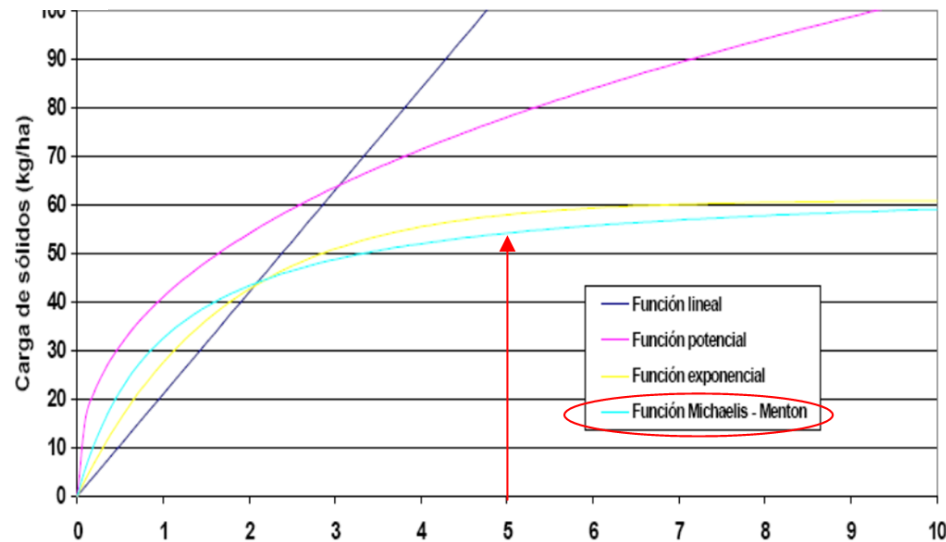
CALIDAD

# USOS DEL SUELO: DATOS DE ACUMULACIÓN

## Función Saturación

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

$C_1$  Acumulación máxima  
 $C_2$  Constante semi-saturación



CALIDAD

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

**$c_1$  y  $c_2$ :** Coeficientes de lavado

**q:** escorrentía

**B:** Contaminante acumulado

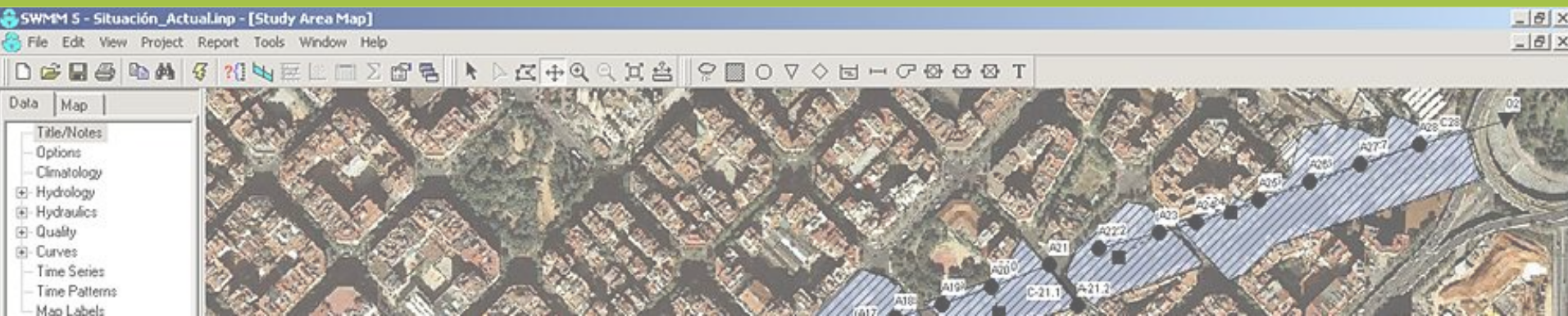
### DATOS DE ARRASTRE DEL CONTAMINANTE

#### TSS FASE INICIAL

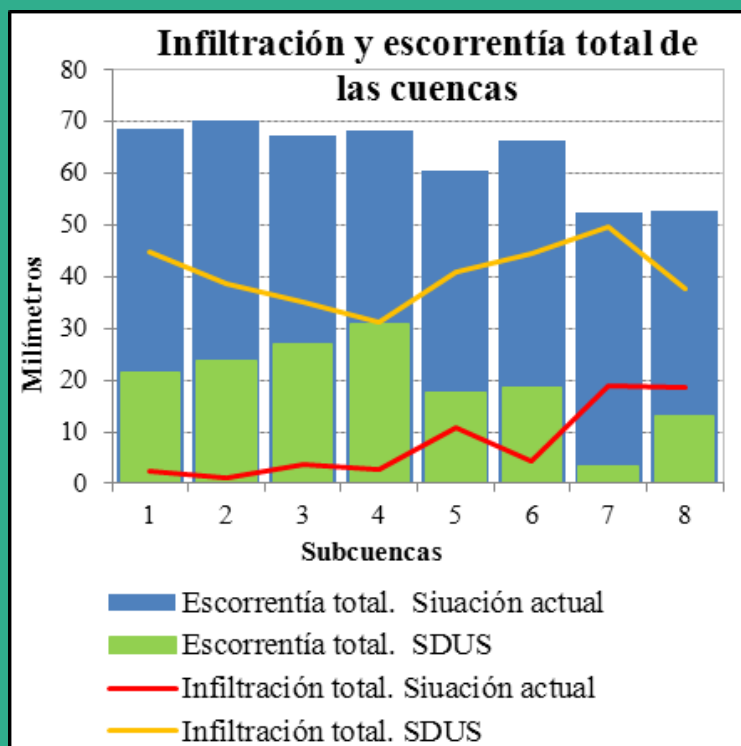
Función de arrastre	EXP
Coeficiente	0,072
Exponente	2,5
Eficiencia de la limpieza (%)	20
Eficiencia BMP (%)	0

Modelo  
Completo  
Granollers  
(Riera,2008)

# RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE CUENCAS



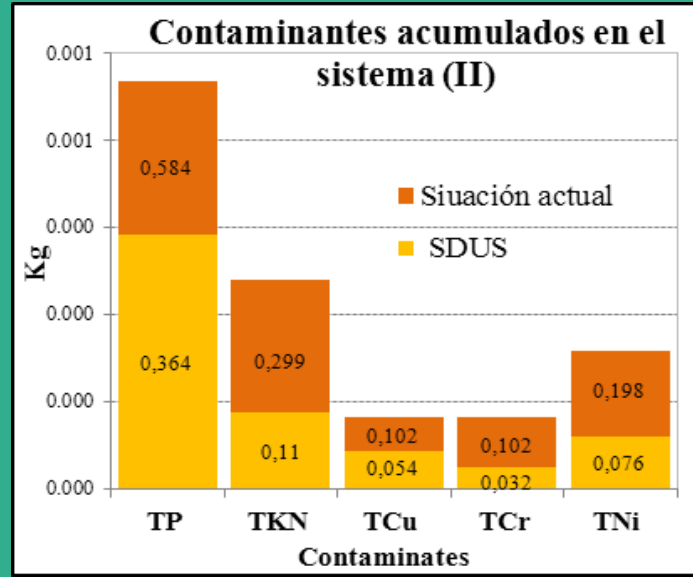
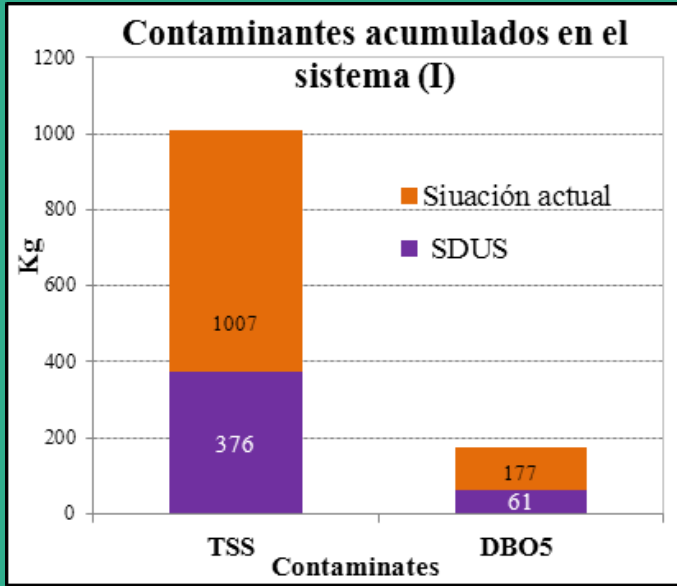
# RESUMEN DE ESCORRENTÍA EN CUENCAS



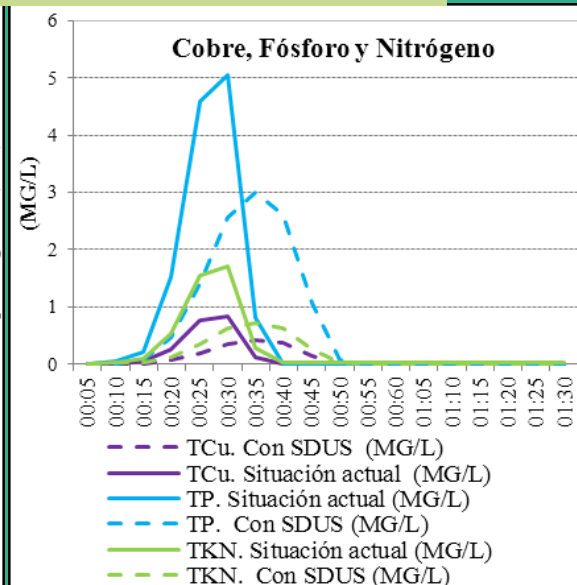
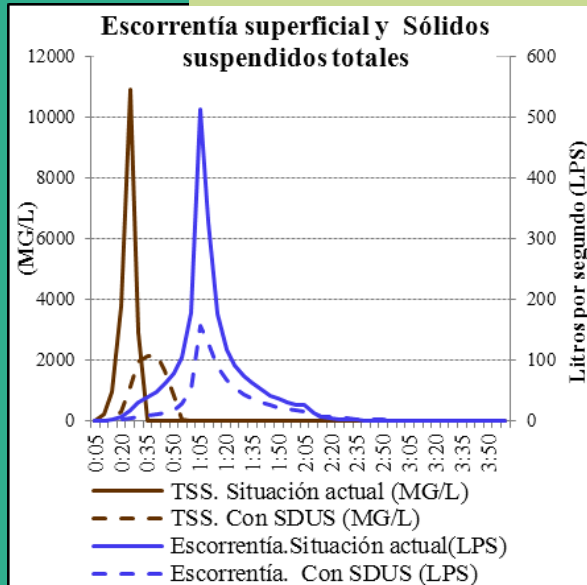
Sistema	Infiltración total (mm)	Escorrentía total (mm)	Caudal pico LPS	Coefficiente de escorrentía
Sistema de drenaje tradicional	7,83	63,255	405	0,88
Sistema de drenaje urbano sostenible	40,36	19,47	111,58	0,27
Variación	80,60%	69,23%	72,45%	69,24%



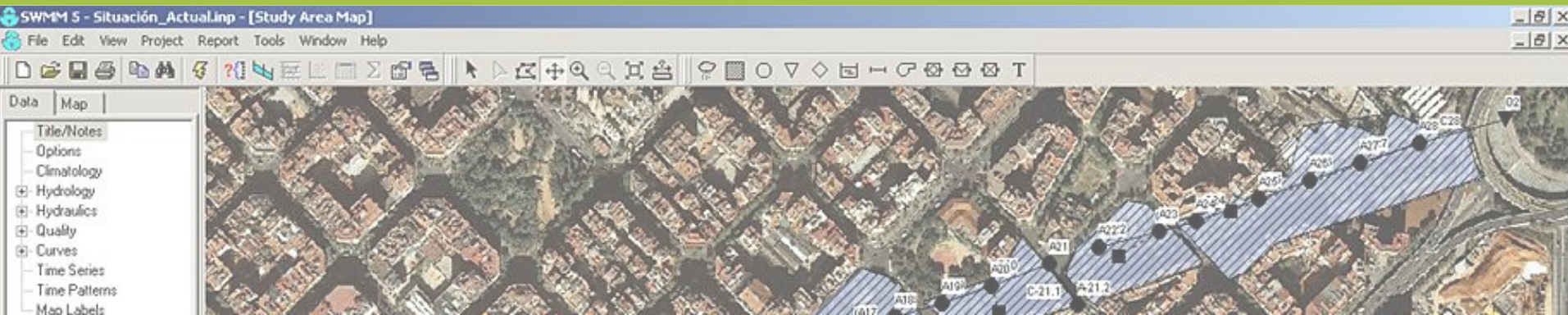
# RESUMEN DE CALIDAD EN CUENCAS



## Hidrogramas y polutogramas en SC6

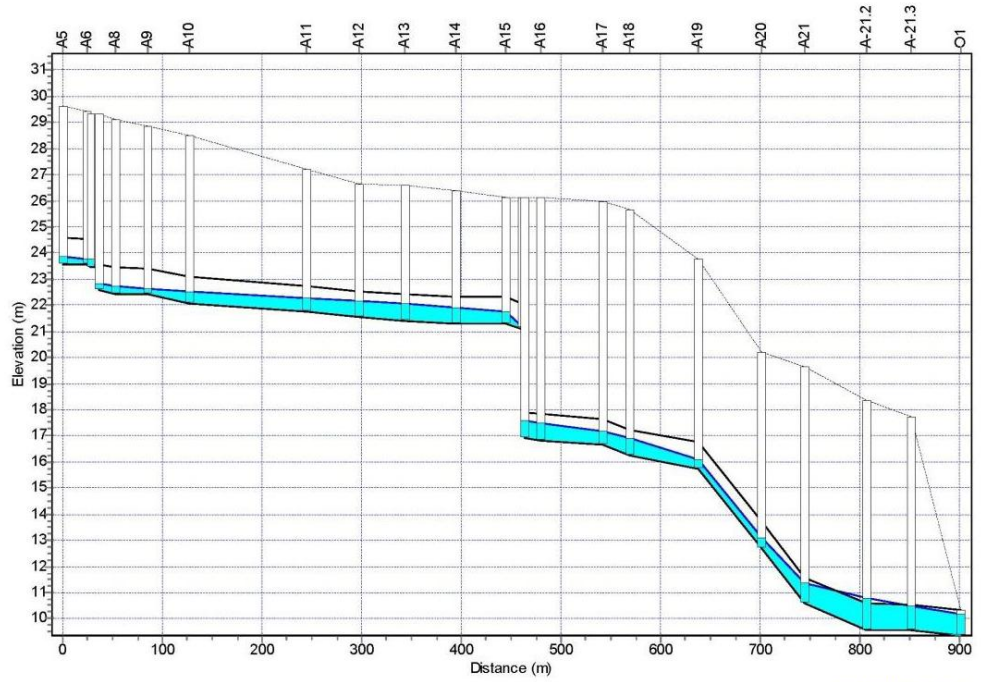


# RESULTADOS DE SIMULACIONES CON LOS COLECTORES DE UN METRO DE DIÁMETRO

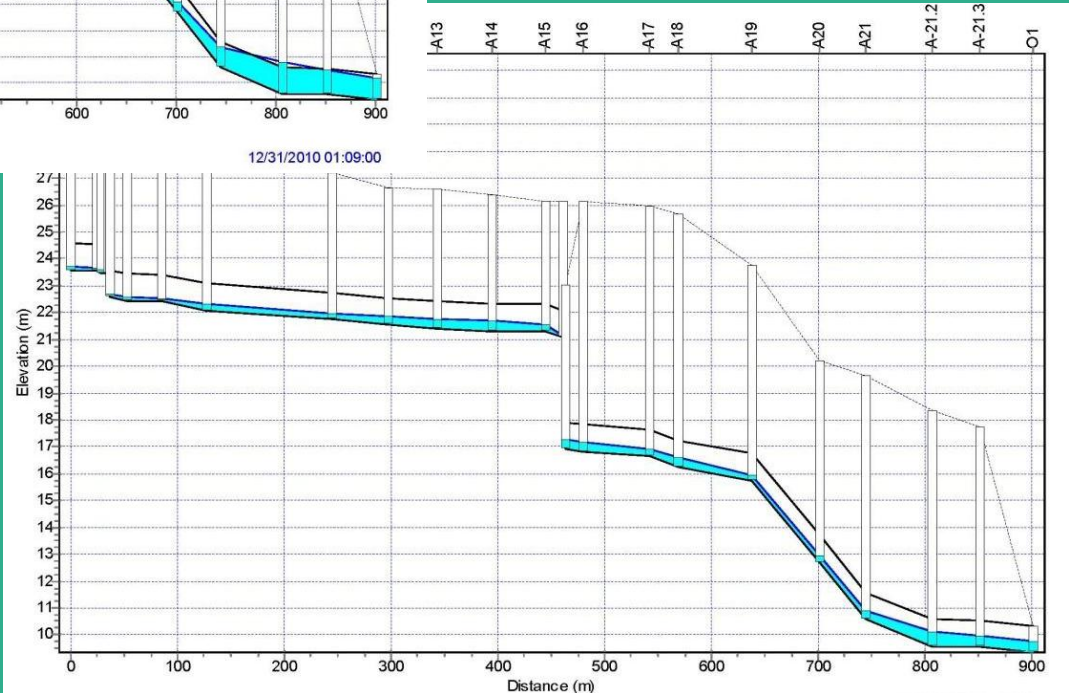


# PERFILES

Sistema actual



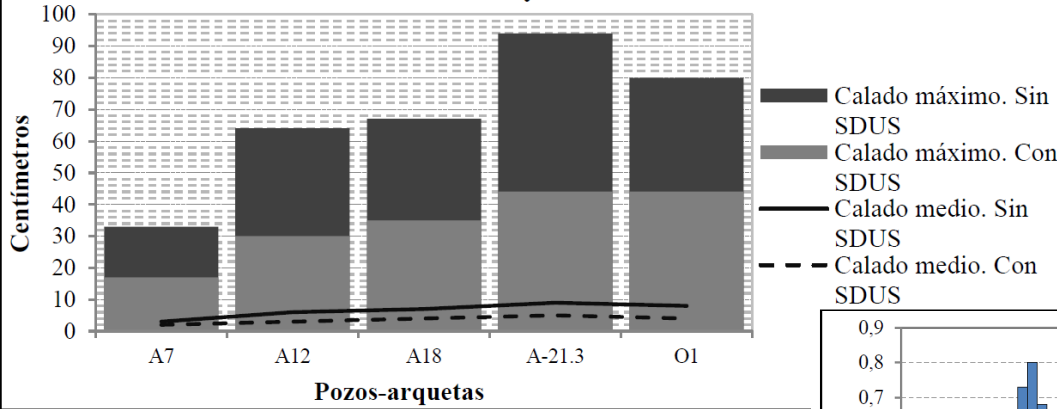
Con SDUS



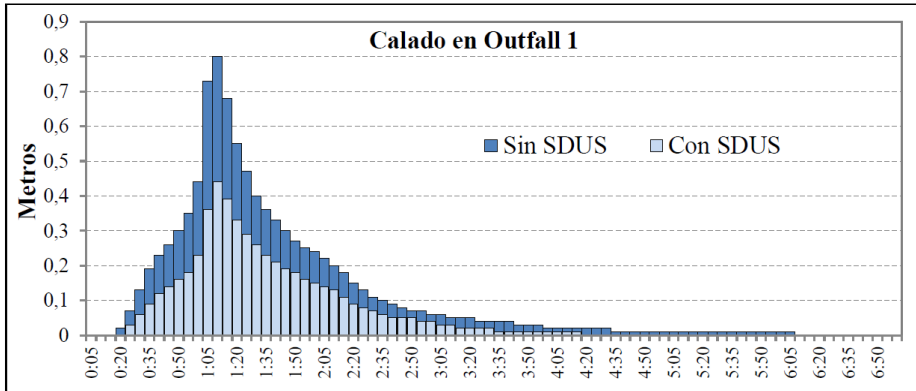


# RESUMEN POZOS

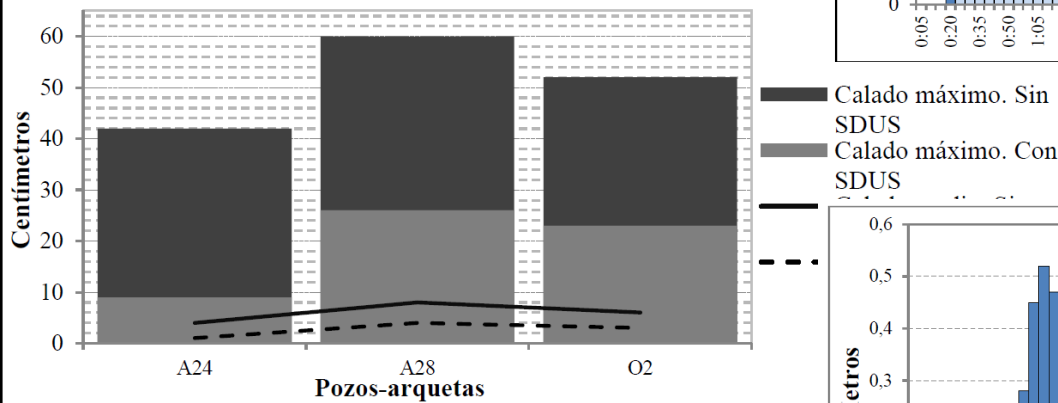
Calados medios y máximos en Tramo 1



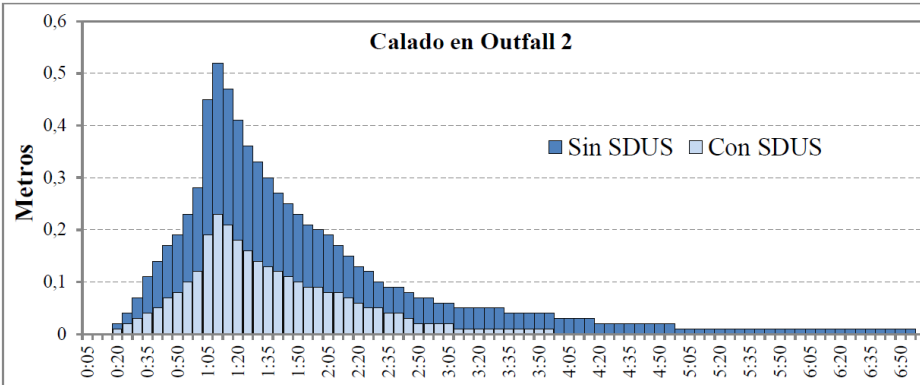
Calado en Outfall 1



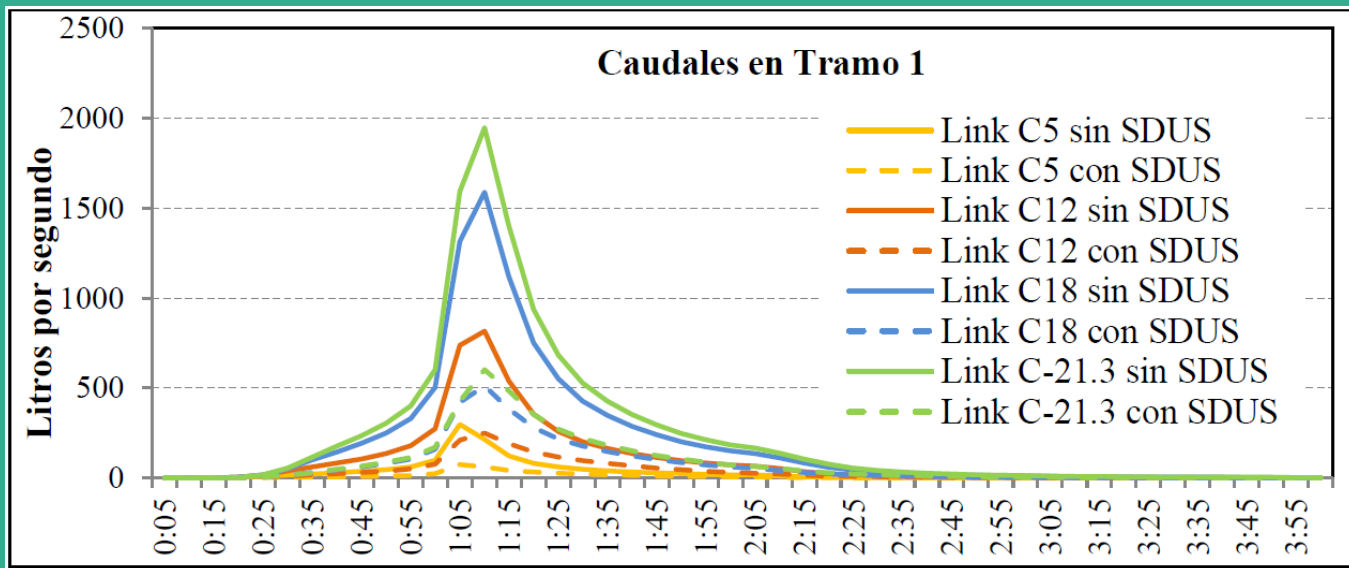
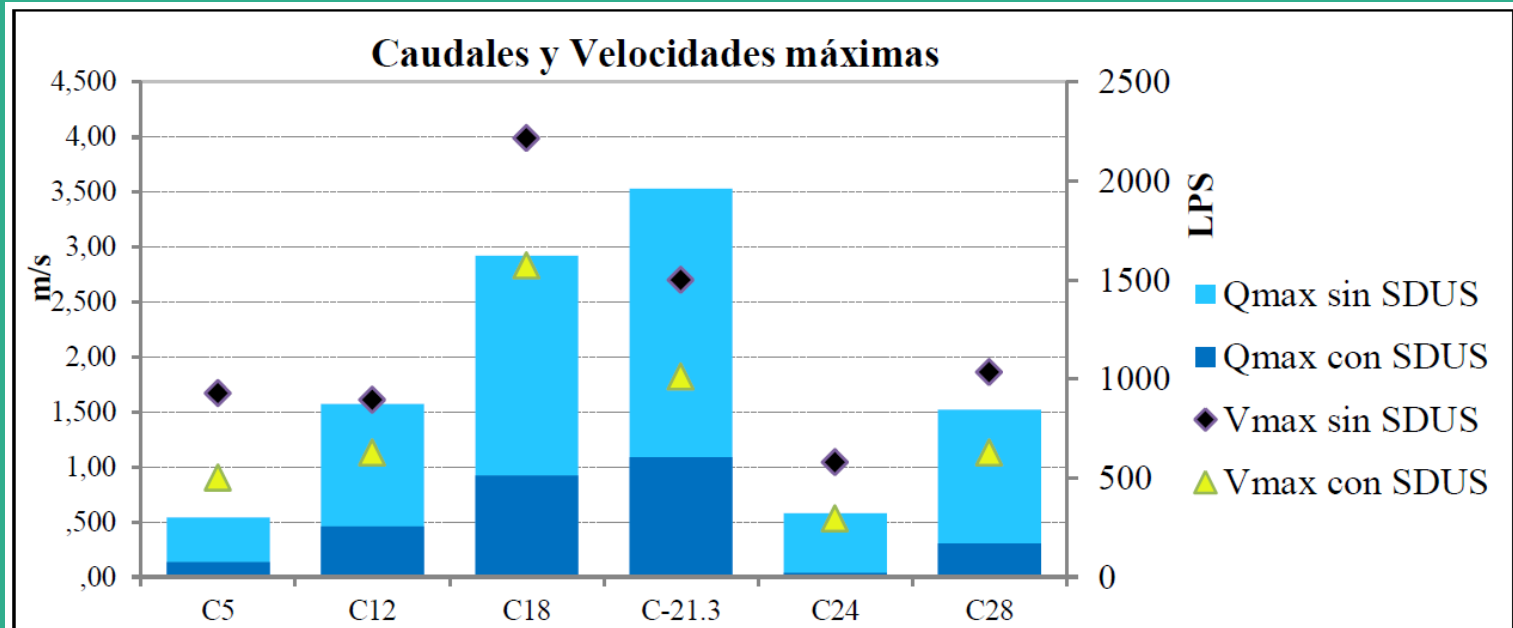
Calados medios y máximos en Tramo 2



Calado en Outfall 2

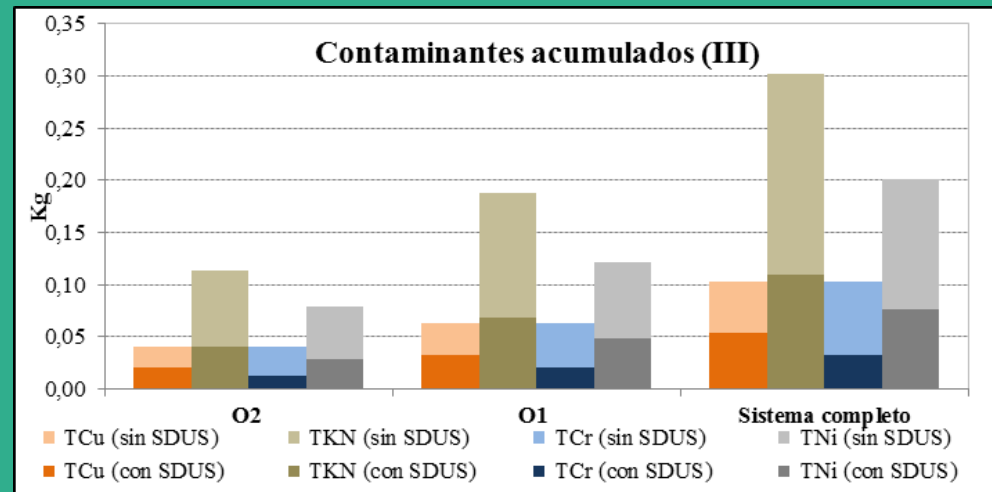
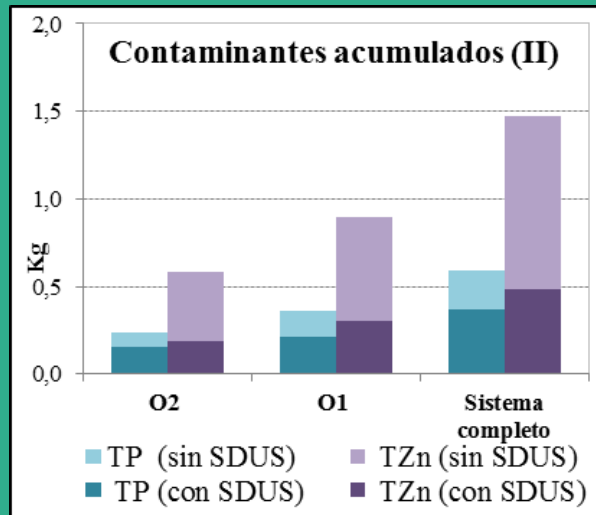
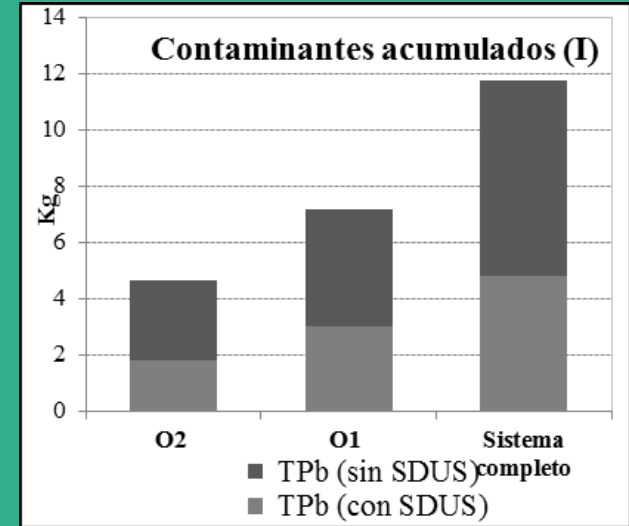
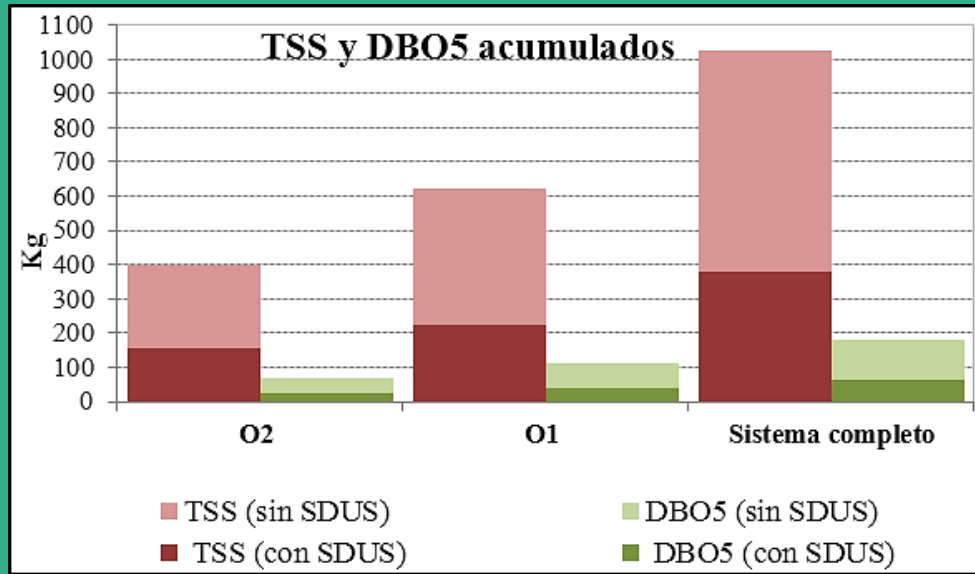


# RESUMEN COLECTORES



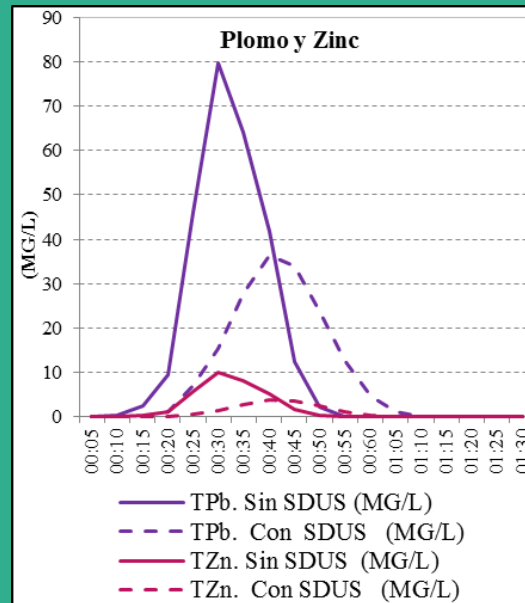
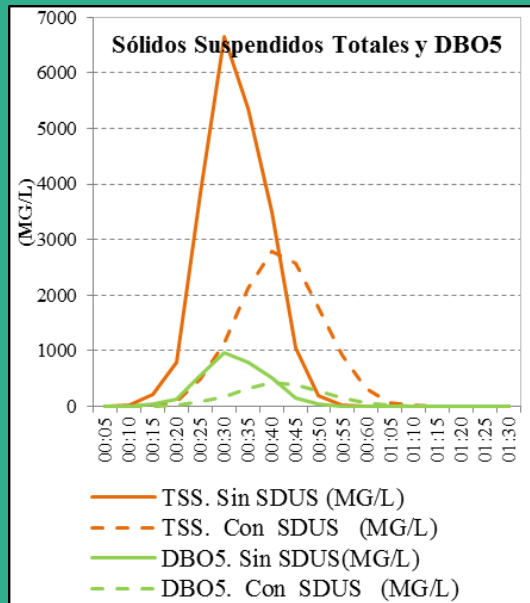
# RESULTADOS CANTIDAD GLOBAL

SIMULACIÓN CALIDAD

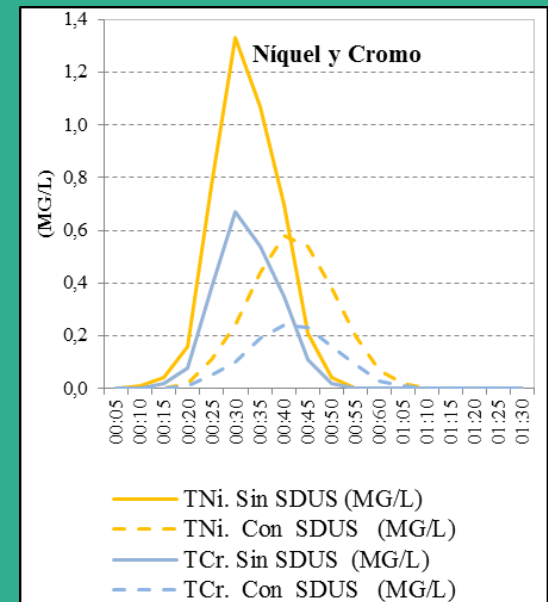
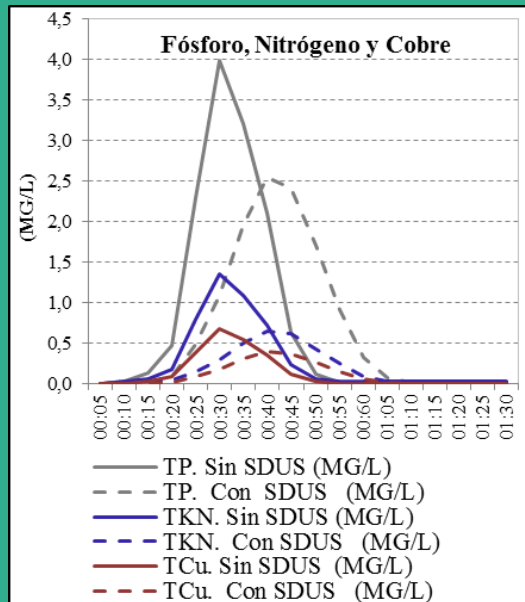


# POLUTOGRAMAS

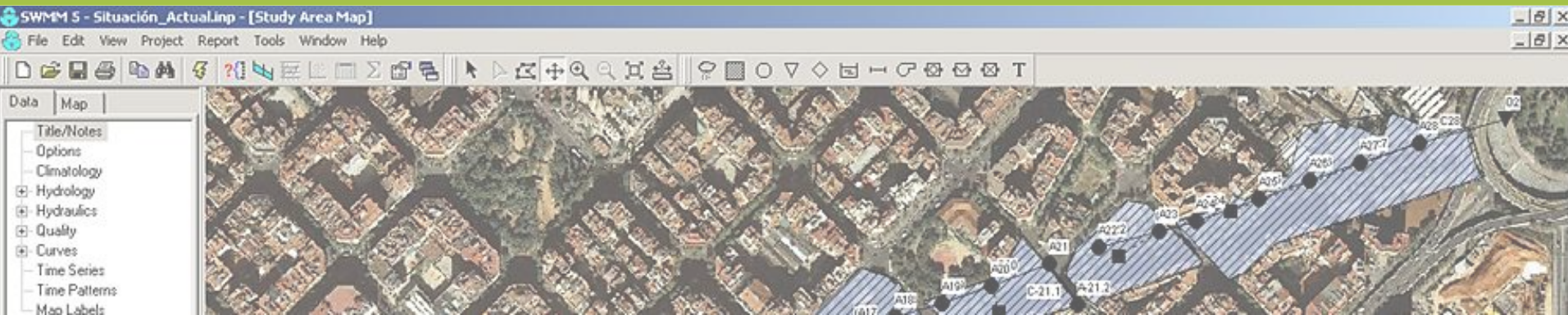
SIMULACIÓN CALIDAD



**Polutogramas en último colector de Tramo 1**

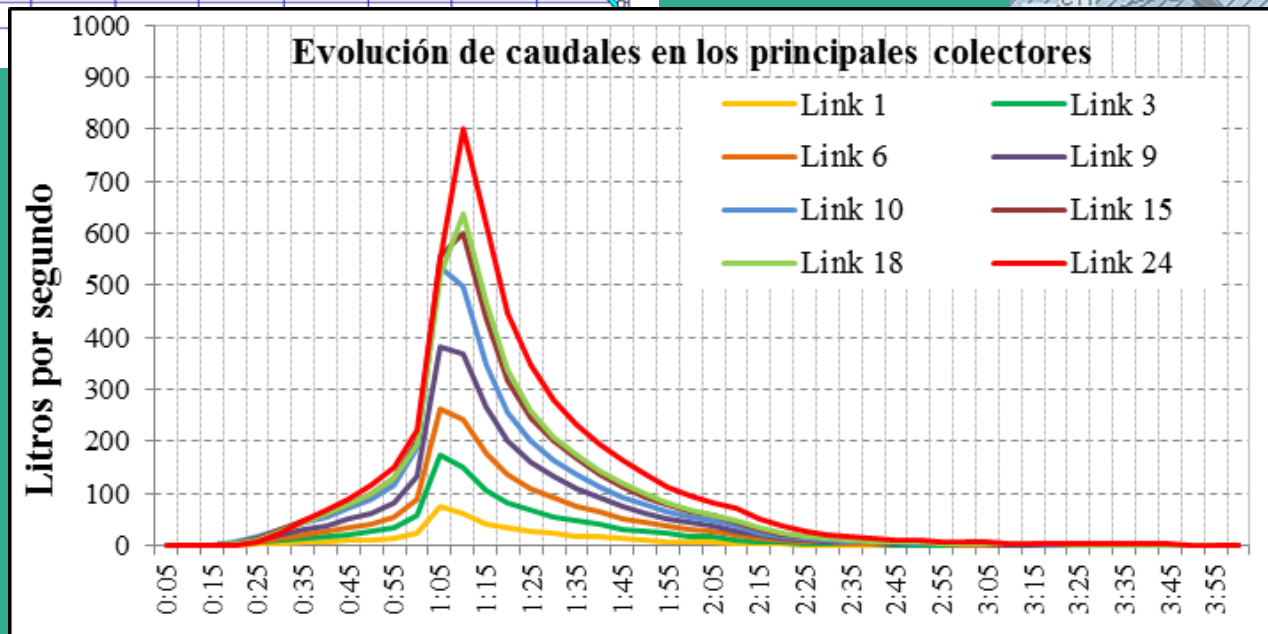
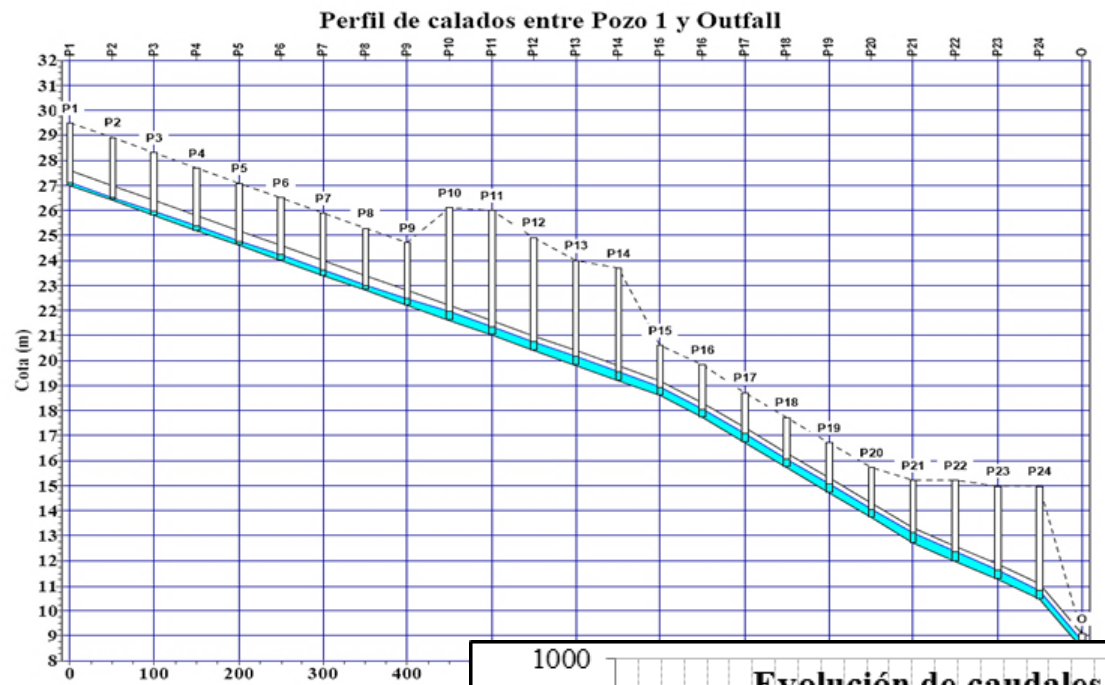


# RESULTADOS DE SIMULACIONES CON LOS COLECTORES DE 600MM



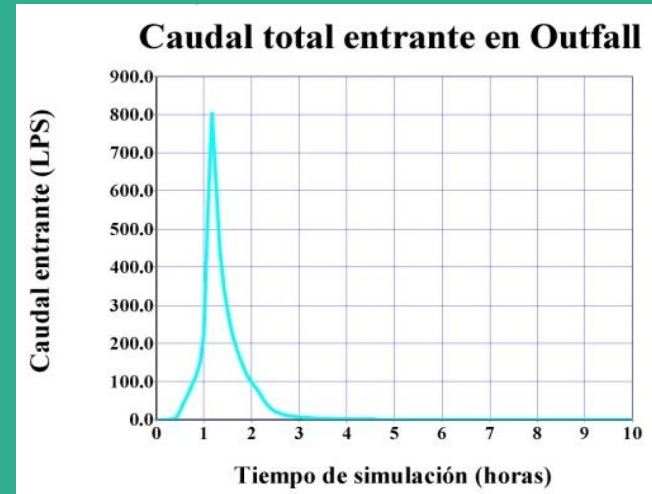
# HIDRÁULICA-PERFIL

SIMULACIÓN CASO PROYECTADO



# RESULTADOS EN OUTFALL

SIMULACIÓN CASO PROYECTADO



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

**CONCLUSIONES**





# REVISIÓN AL ESTUDIO DEL ARTE

## CONCLUSIONES

**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**