

HIDROLOGIA URBANA

OBRAS HIDRÁULICAS: Ing. José A. Serra

RESUMEN

•GENERALIDADES:

- Introducción
- Importancia
- Historia
- Tipos Sistema de Drenaje

•CUENCAS URBANAS

•EFECTO DE LA URBANIZACIÓN EN CUENCAS

•INUNDACIONES PLUVIALES URBANAS

•DISEÑO DE DESAGÜES PLUVIALES URBANOS

•MÉTODOS DE CÁLCULO PARÁMETROS DE DISEÑO

•COMPONENTES DE UN SISTEMA DE DRENAJE

Introducción:

El **aumento de las áreas urbanas y la densificación poblacional** son fenómenos antrópicos que se han acelerado significativamente en los últimos 30 a 40 años.

La falta de infraestructuras básicas en zonas no urbanas hace que el hombre se agrupe en las áreas con servicios, construyendo viviendas, veredas, calles pavimentadas, obras que en general tienen un punto en común, su carácter **impermeable o impermeabilizante** que hace que el agua se traslade rápidamente hacia otros sectores.

Importancia:

- Los sistemas de drenaje son necesarios en el desarrollo de áreas urbanas debido a la interacción entre actividades humanas y el ciclo natural del agua.

**Abstracción de agua para
el consumo humano**



Agua Residual

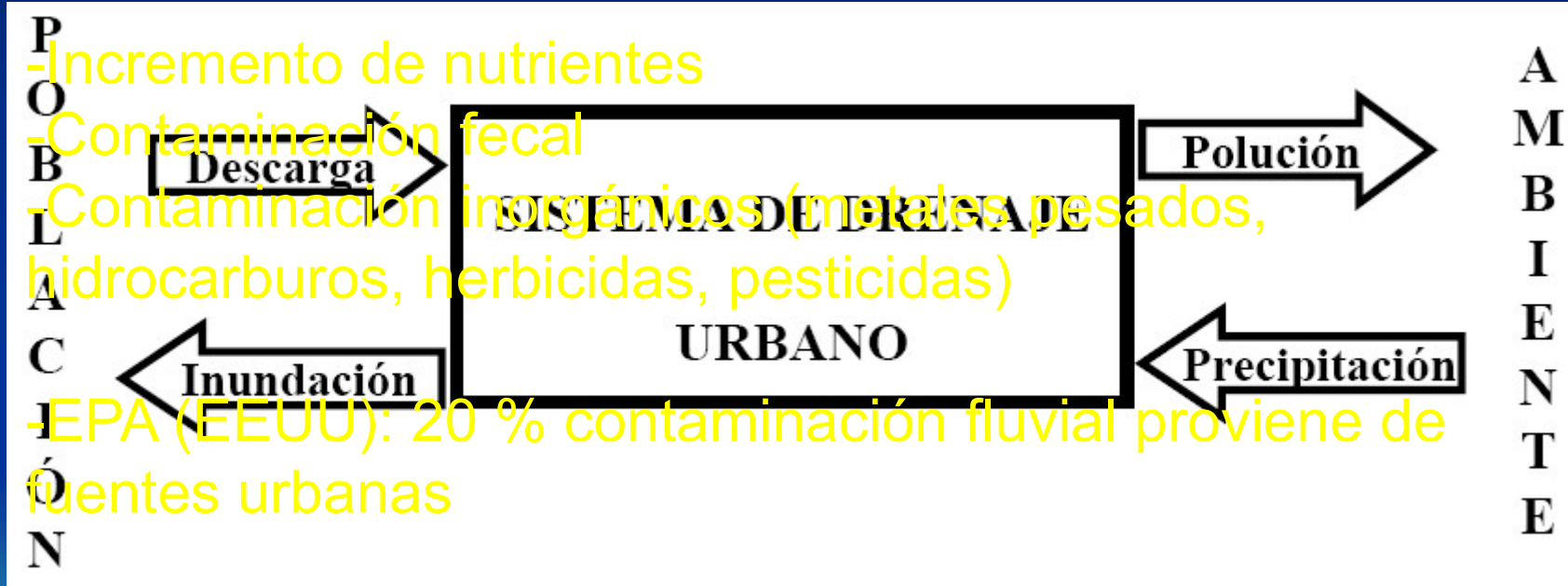
**Cobertura del suelo con
superficies impermeables**



Agua Lluvia

Importancia:

- Son necesarios para minimizar problemas en la salud pública y al ambiente



Importancia:

- Inundaciones;
- Contaminación.



UN POCO DE HISTORIA

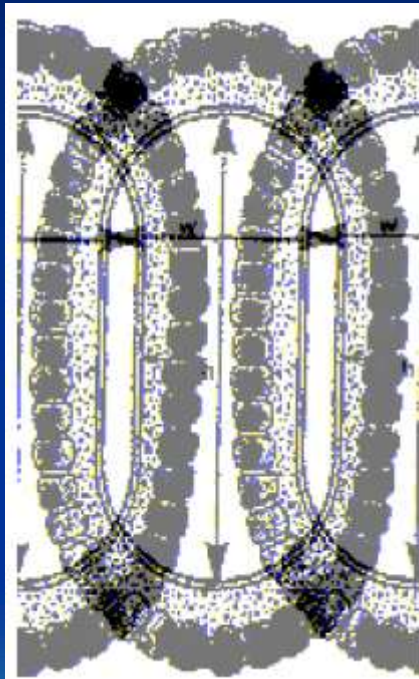
La creación de los alcantarillados se remota a la época del **Imperio Romano**, cuando se diseñaron alcantarillados para drenar las aguas de lluvias.



Sistema de Drenaje de Techos en Pompeya



Los alcantarillados como sistema de conductos para la evacuación de las aguas residuales no era el objetivo inicial, sino fue consecuencia de las enfermedades presentadas durante el siglo XIX.



Sección con mejor capacidad hidráulica



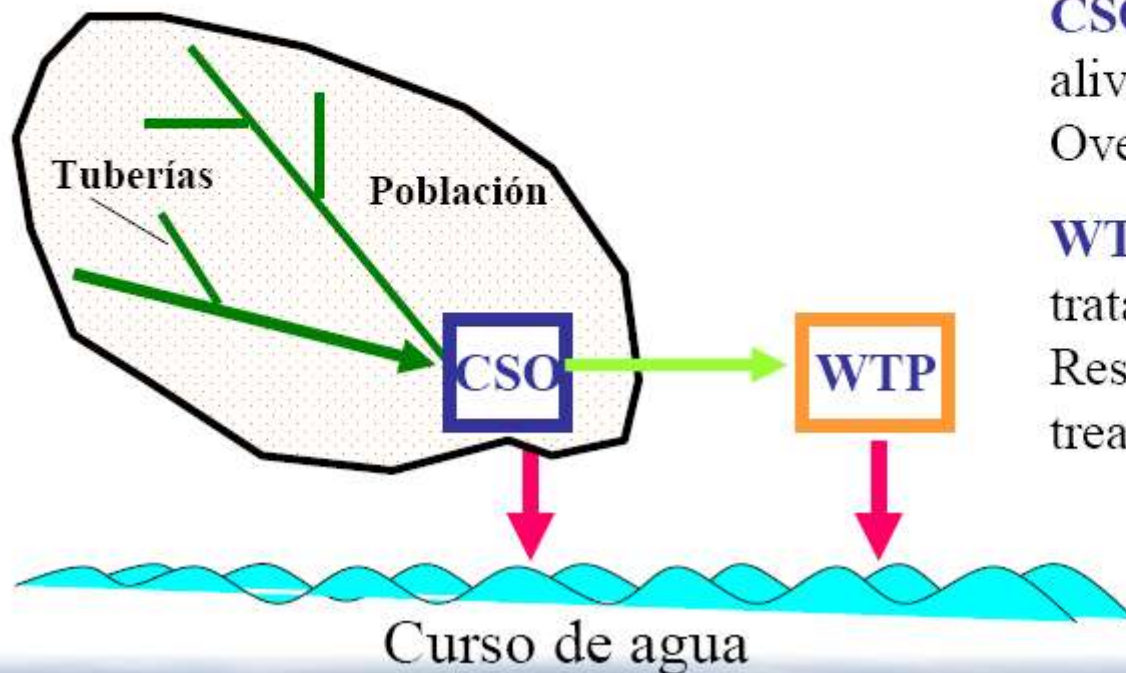
Sección con mejor comportamiento hidráulico para el arrastre de sólidos

Tipos de Sistemas de Drenaje



- Combinado:

El agua residual y el agua lluvia fluyen juntas en la misma tubería

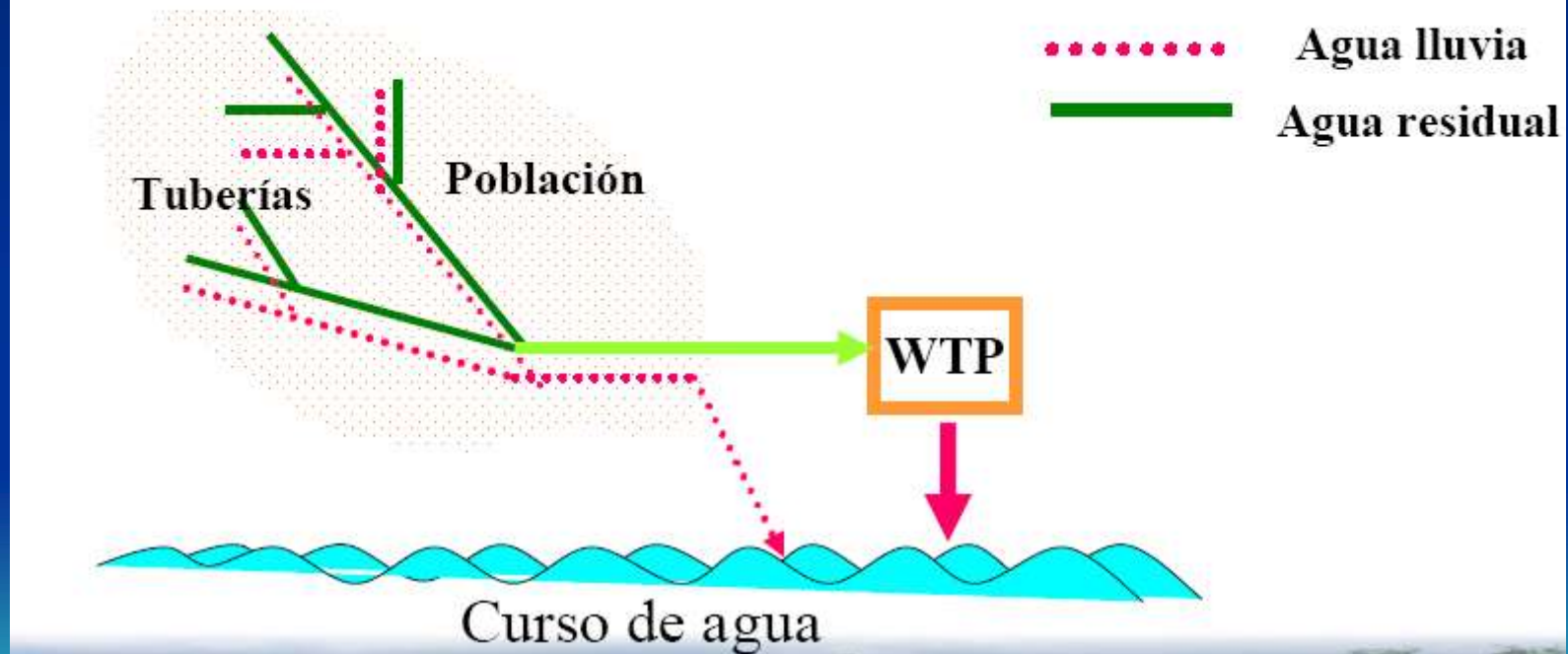


CSO : Estructuras de alivio (Combined Sewer Overflows)

WTP: Plantas de tratamiento de Agua Residual (Wastewater treatment plant)

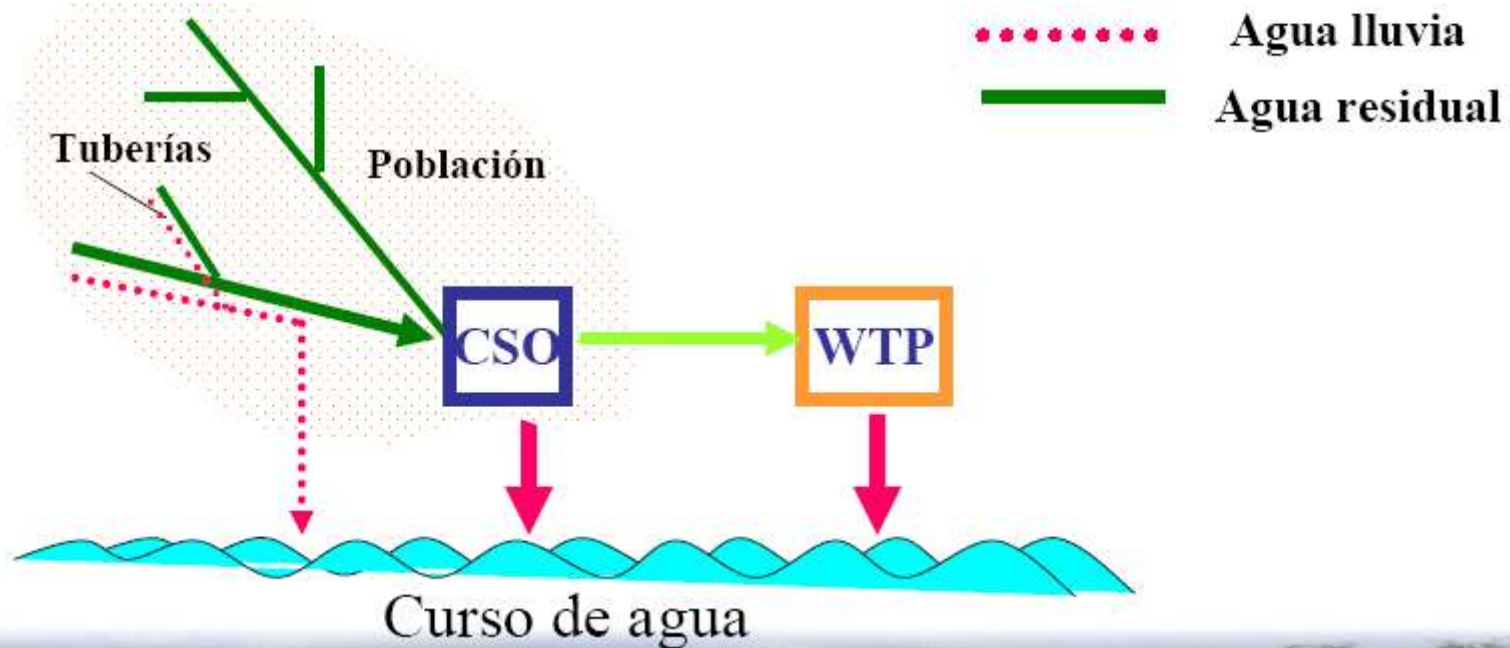
- Separado:

El agua residual y el agua lluvia son mantenidas en tubería separadas



- Híbrido:

Sectores separados en un sistema combinado



CUENCAS URBANAS

Cuenca rural → cuenca urbana

Reducción de

- Infiltración
- Percolación
- Escurrimiento subsuperficial y subterráneo
- Tiempo de retardo

Aumento de

- Volumen de escurrimiento superficial
- Caudal pico
- Velocidad de escurrimiento

Alteración de → Patrón espacial del flujo

Cuenca SENSIBLE a lluvias INTENSAS de corta duración.

Modificaciones del BALANCE HIDRICO

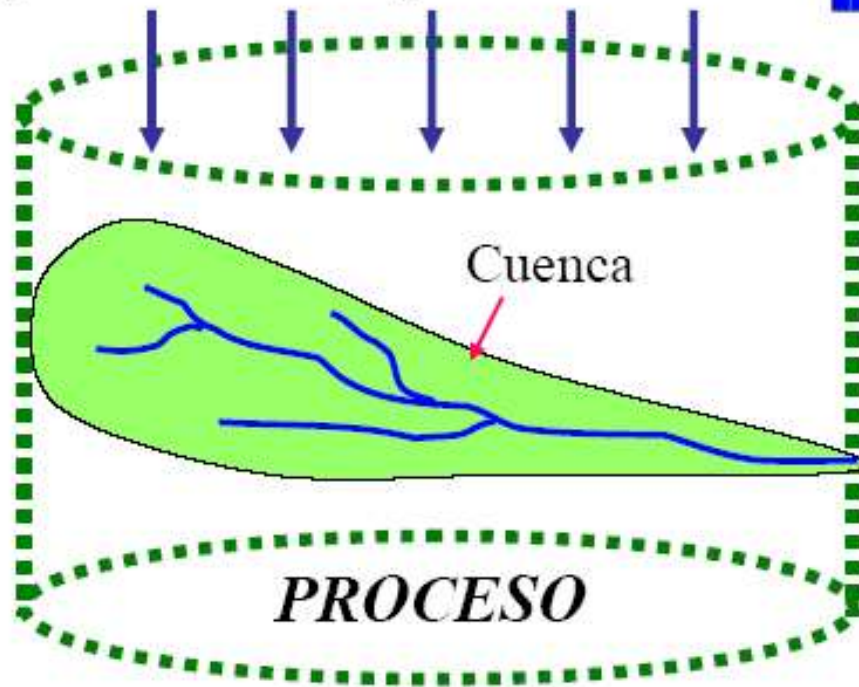
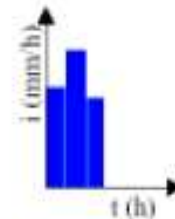
En cuencas urbanas HAY ESCURRIMIENTO
en CASI TODAS las lluvias.

Precipitación – Cuenca - Escorrentía

(PCE)

INSUMO

Precipitación



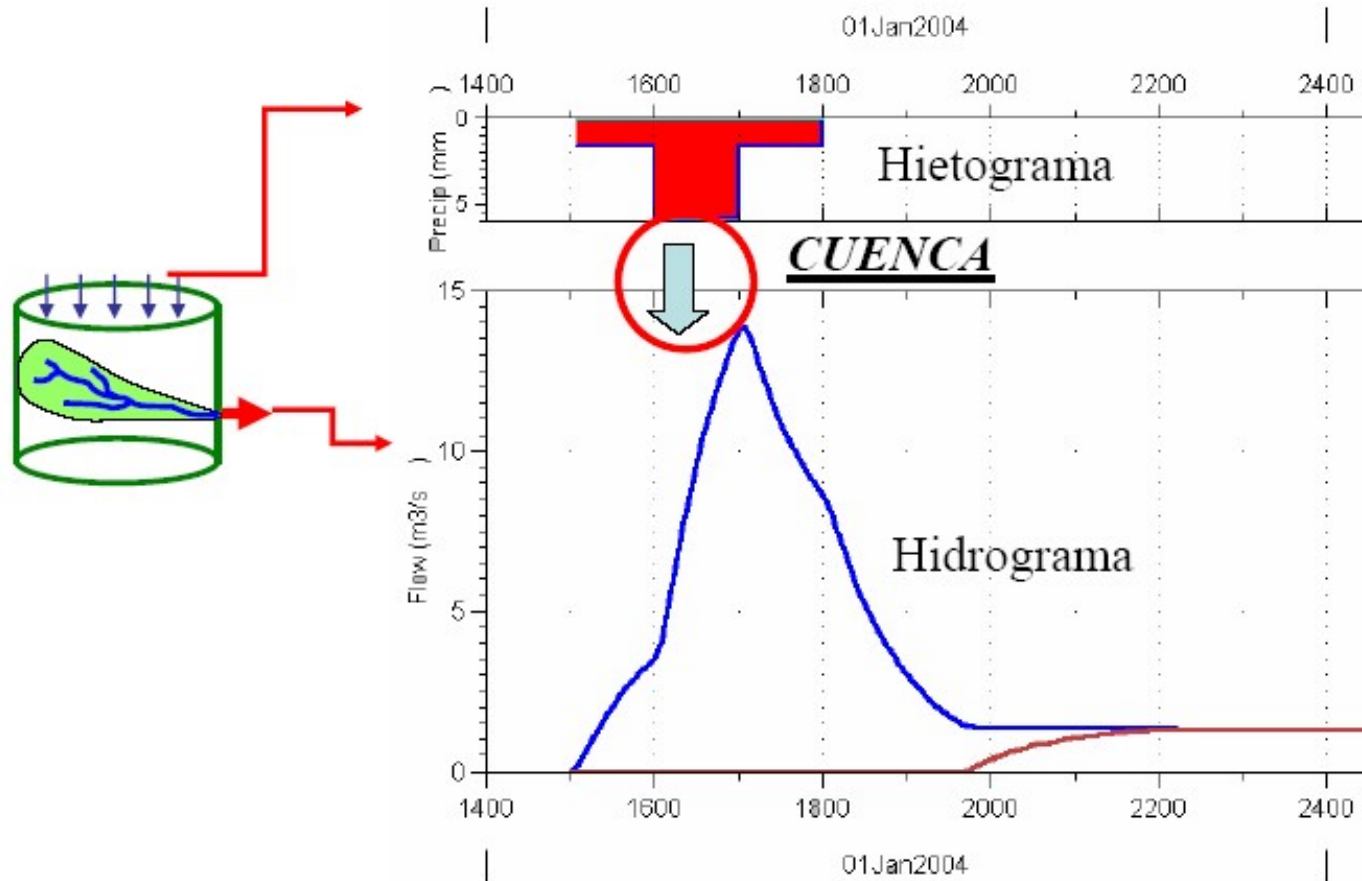
Caudal



PRODUCTO

Precipitación – Cuenca - Escorrentía

(PCE)



Efectos de la Urbanización s/ cuencas

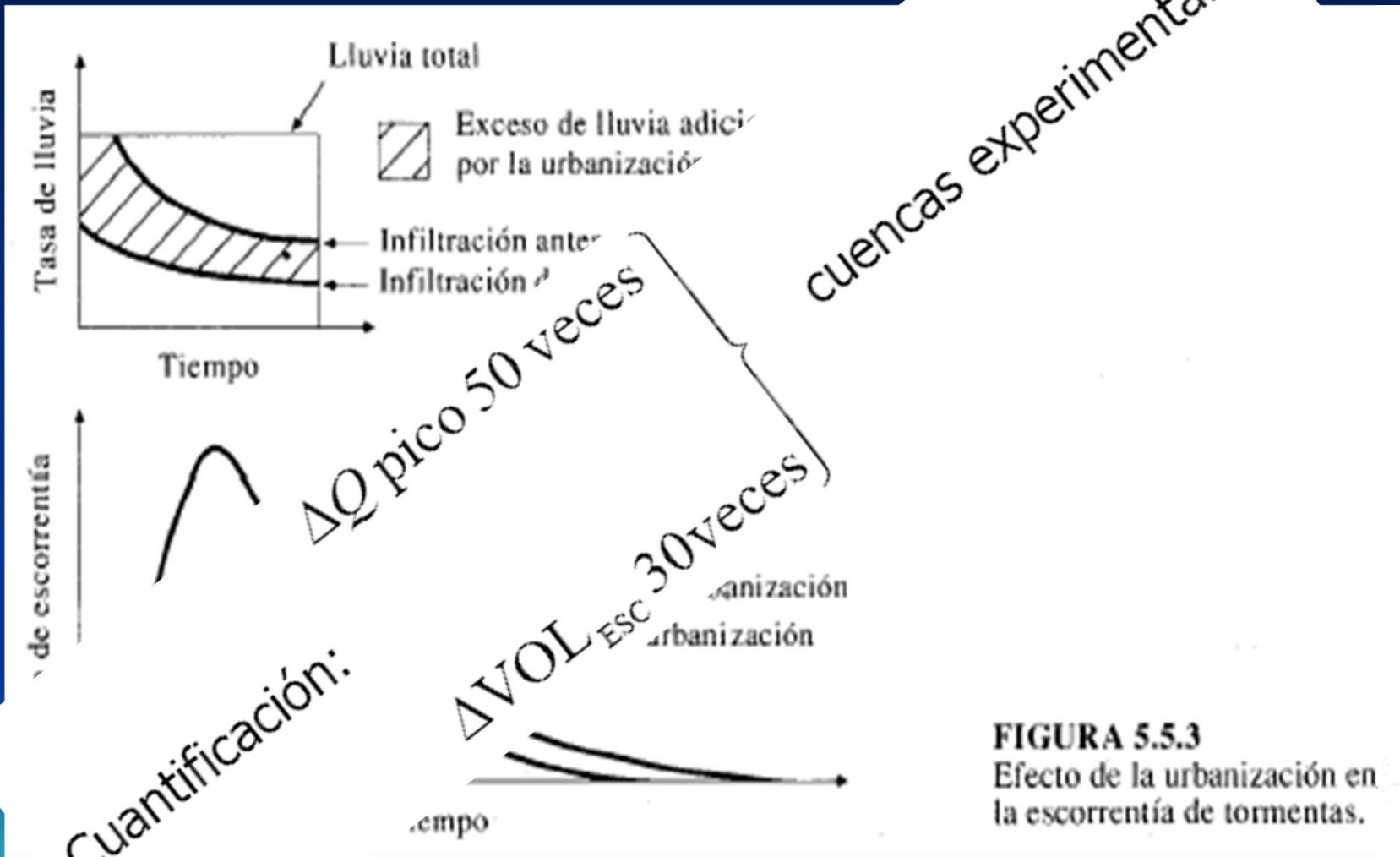
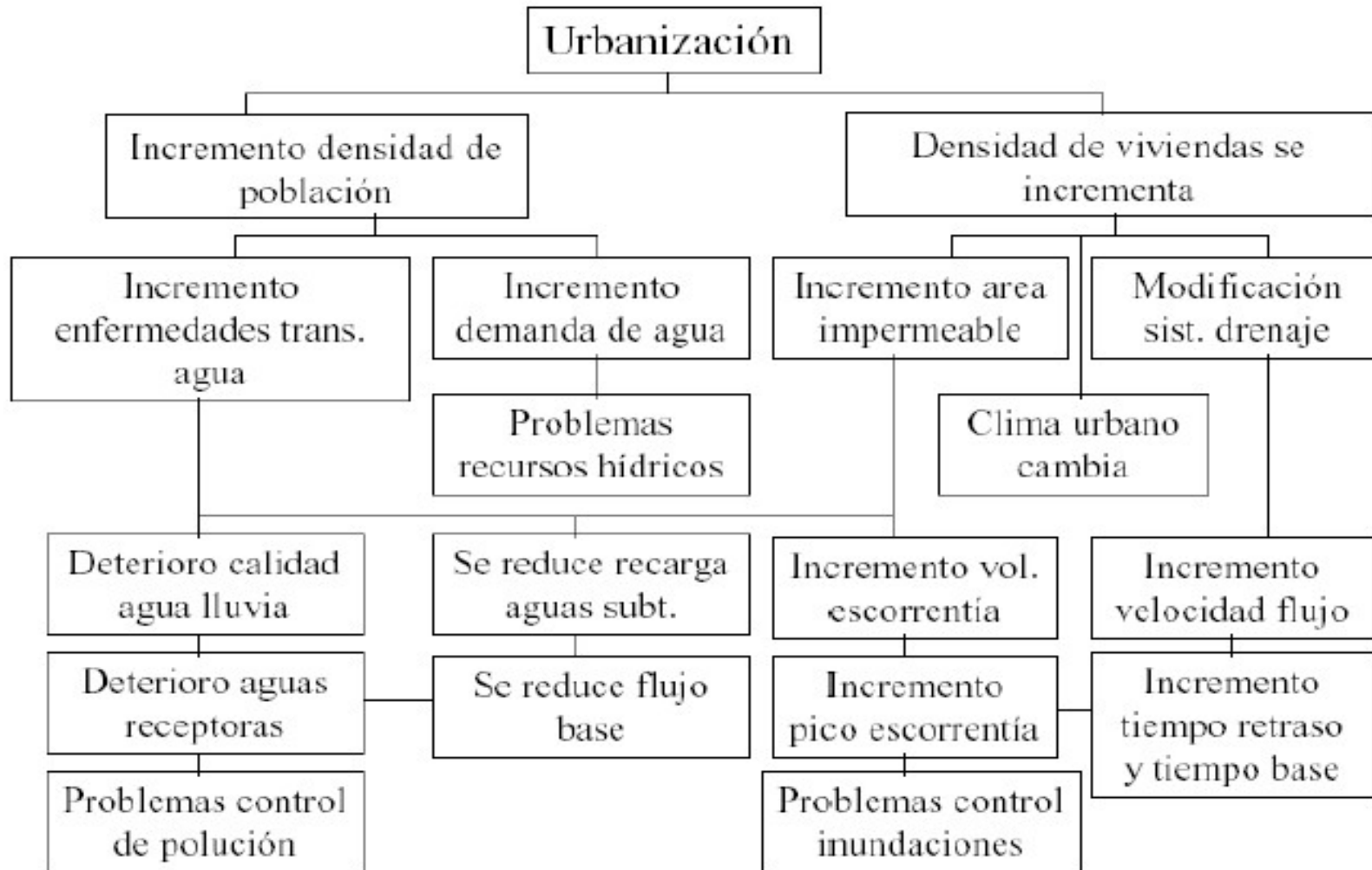
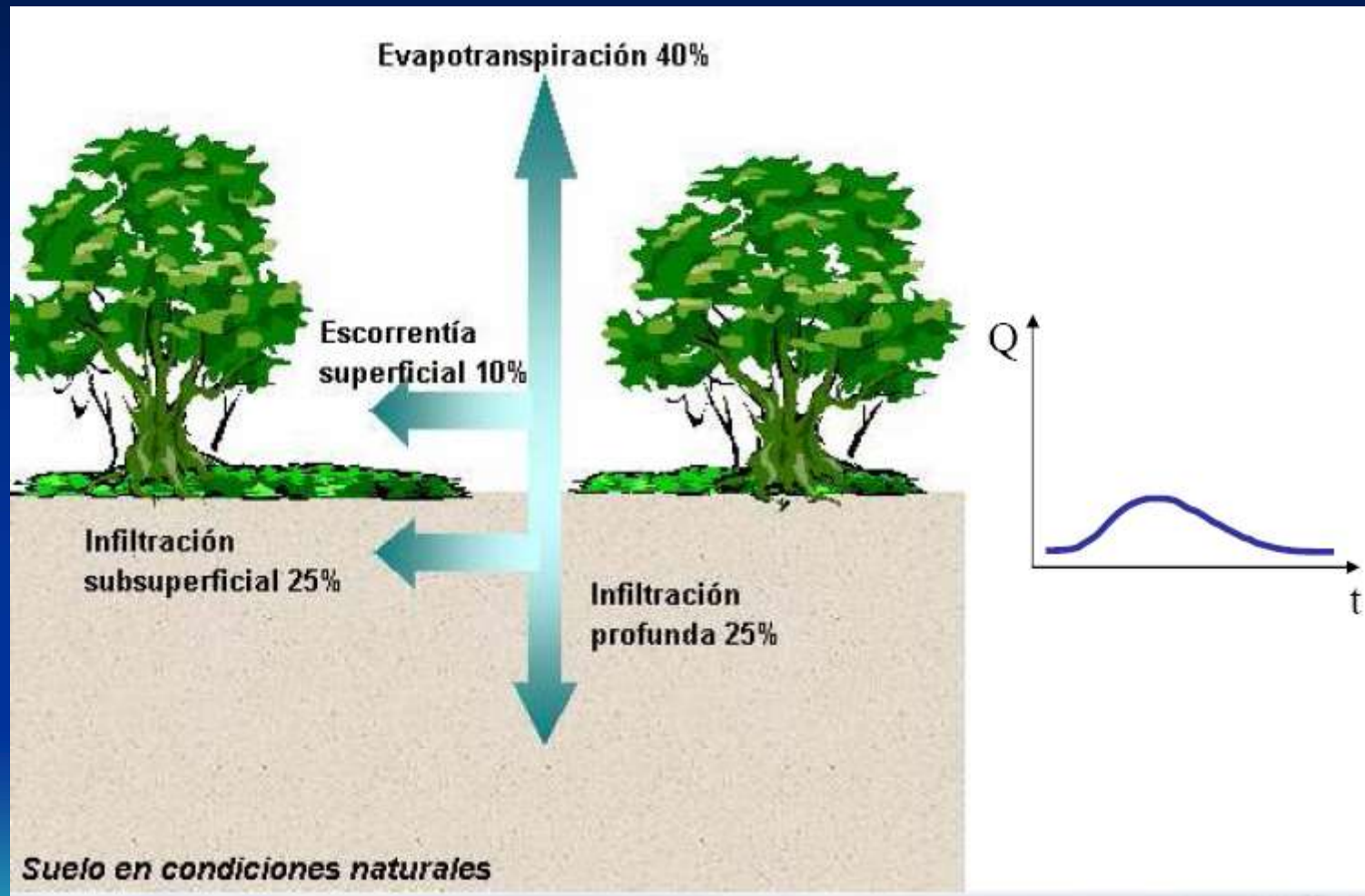


FIGURA 5.5.3
Efecto de la urbanización en la escorrentía de tormentas.

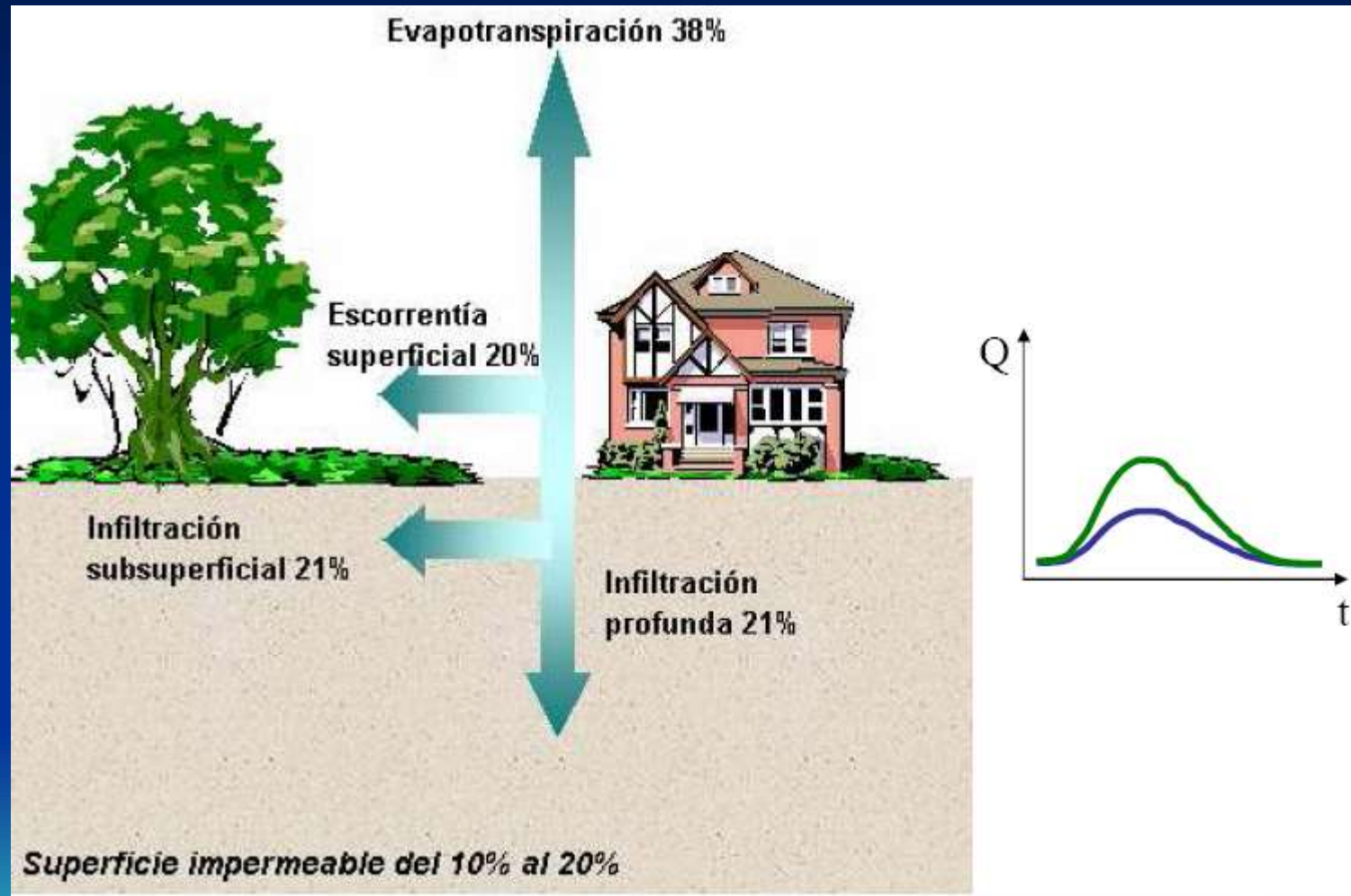
Efectos de la Urbanización s/ Cuencas



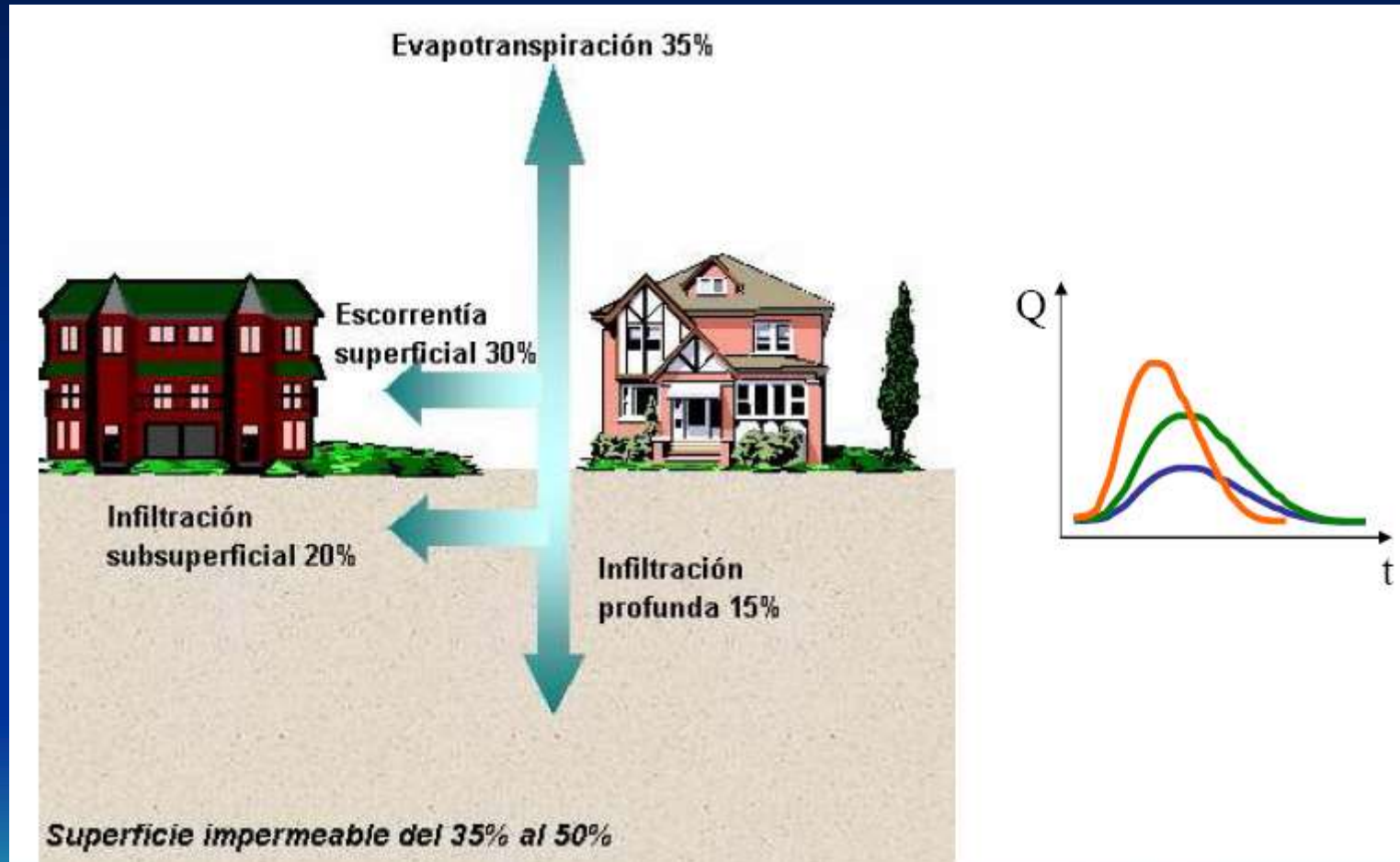
Efectos de la Urbanización s/ Cuencas



Efectos de la Urbanización s/ Cuencas



Efectos de la Urbanización s/ Cuencas



Efectos de la Urbanización s/ Cuencas

Los efectos de la impermeabilización sobre el comportamiento hídrico de una cuenca **se intensifican para eventos de magnitudes bajas** en los que, bajo condiciones de preurbanización, la detención superficial, la infiltración, la evaporación y la evapotranspiración pesan considerablemente en el balance hidrológico.

En situaciones de eventos de magnitudes importantes, es decir precipitaciones con períodos de retorno elevados, la sensibilidad de la cuenca al proceso de urbanización disminuye debido a que estos tipos de eventos tienden a saturar el suelo rápidamente.

Inundaciones Pluviales Urbanas

- Al producirse una lluvia en una cuenca, la parte del agua que escurre producirá un caudal que será necesario controlar para que el mismo no produzca inundaciones;

COMO PLANIFICAMOS???

-CRITERIOS TRADICIONALES:

Seguridad ante la falla;
Maximizar garantías.

-CRITERIOS MODERNOS:

Evaluar las consecuencias de una falla en vez de preocuparse por la ocurrencia o no de la propia falla;
Buscar que el sistema sea seguro en la falla.

Inundaciones Pluviales Urbanas

SEGÚN EL DR. ING. JORGE PILAR (FI-UNNE), EN LAS CIUDADES DEL CONO SUR NOS PLANTEAMOS EL TEMA DRENAJE URBANO SOLAMENTE EN 3 SITUACIONES:

- **CUANDO SE PREPARAN PLANES DE PAVIMENTACIÓN DE CALLES;**
- **DURANTE LOS ANEGAMIENTOS PROVOCADOS POR LLUVIAS DE CIERTA INTENSIDAD;**
- **DURANTE LOS 2 O 3 DIAS POSTERIORES QUE DURAN LOS DEBAES SOBRE LAS CAUSAS Y SOLUCIONES A ESTAS CALAMIDADES.**

Inundaciones Pluviales Urbanas

PUEDEN SER CONTROLADAS CON ACCIONES DE 2 TIPOS:

1. ESTRUCTURALES: Esencialmente Obras;

2. NO ESTRUCTURALES: Medidas que tienden a amenizar la convivencia con el problema mas que a resolverlo.

Inundaciones Pluviales Urbanas

A LO LARGO DE LA HISTORIA EL DRENAJE URBANO PASO POR LO QUE PODEMOS LLAMAR 2 ETAPAS BIEN DIFERENCIADAS:

➤ **ETAPA HIGIENISTA:**

Librarse del agua excedente lo mas rápido que se pueda y arrojarla lo mas lejos posible ;

➤ **ETAPA DE CRITERIO AMBIENTAL:**

Convivir armónicamente con el agua, tratando de retenerla lo mas que se pueda, buscando laminar los hidrogramas de escurrimiento.

DISEÑO DE DESAGÜES PLUVIALES URBANOS

Los principales datos que debemos tener a disposición o elaborar en primera instancia para iniciar el diseño y proyecto de un sistema de desagües pluviales son los siguientes:

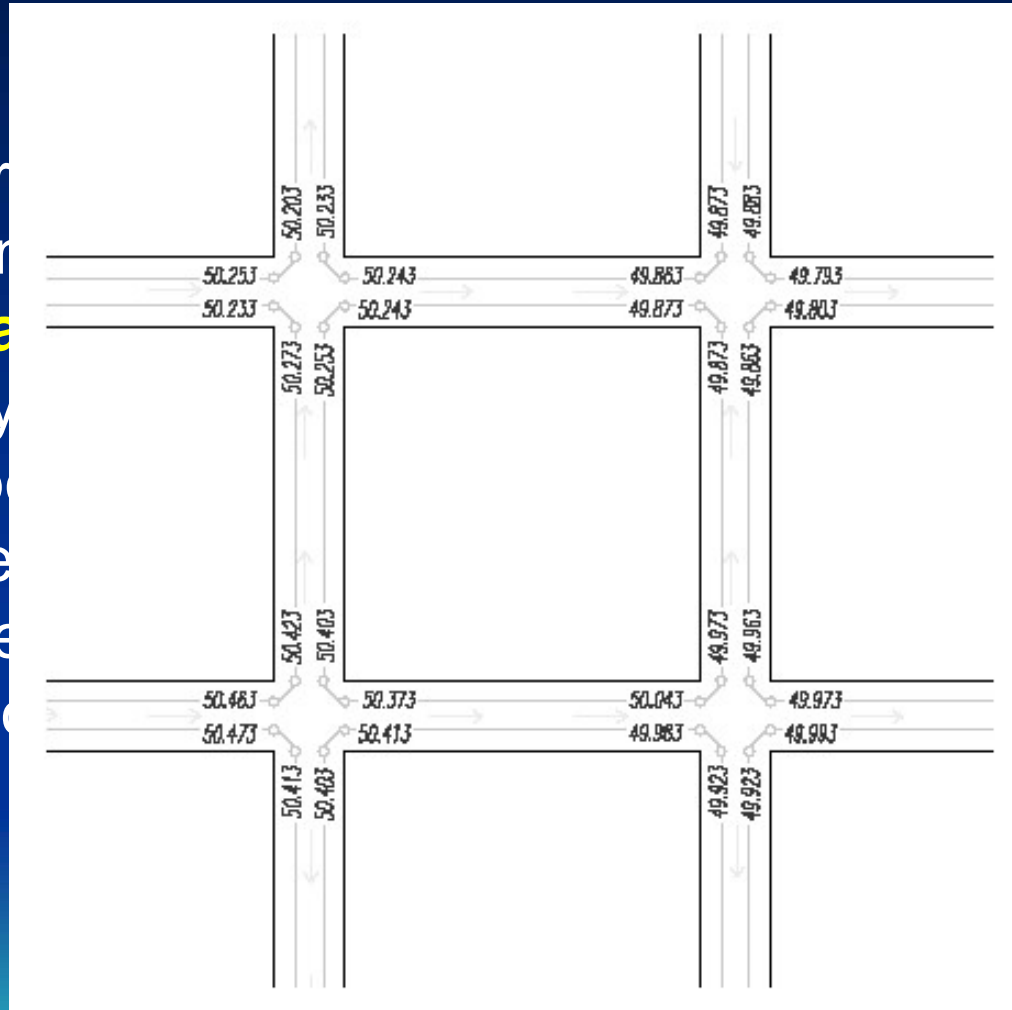
- ✓ **PLANOS;**
- ✓ **LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO;**
- ✓ **INFRAESTRUCTURA EXISTENTE;**
- ✓ **CATASTRO Y URBANIZACIÓN;**
- ✓ **DETERMINACIÓN DE LA CUENCA DE APORTE Y RED DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL.**

PLANOS:

Estos planos deberán ser de varios tipos, desde los generales de ubicación general de la cuenca hasta los de detalle que **permitirán el nivel de detalle necesario** para aportar las mejores soluciones al problema que se pretende resolver. Estos deberán incluir los levantamientos topográficos del área tal que **permita la delimitación y trazado de la cuenca de aporte** del sector de trabajo. Las escalas que los mismos tendrán serán variadas dependiendo del tipo de trabajo que realicemos con ellos o lo que estos pretendan mostrar.

LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS:

Necesitar
las esqu
identifica
además y
datos top
básicame
el área de
paviment



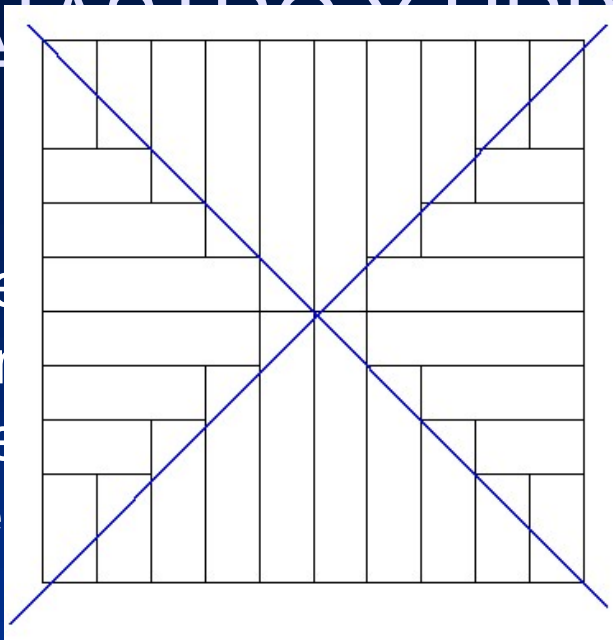
en todas
permita
nociendo
. Estos
ndrán
endiendo si
de

INFRAESTRUCTURA EXISTENTE:

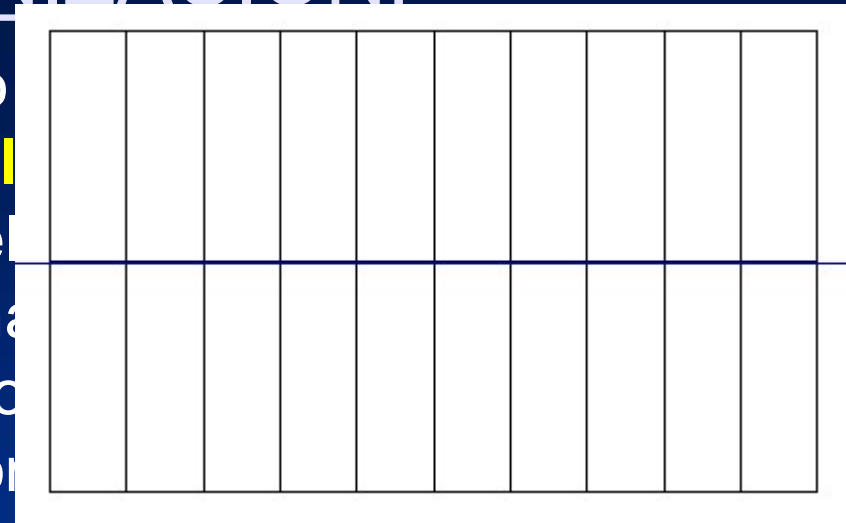
Es de fundamental importancia conocer con la mayor precisión posible la traza y ubicación planialtimétrica de las **redes de otros servicios**, como: cloacas, agua potable, telefonía, electricidad, TV por cable y otros; de tal forma de ajustar nuestro proyecto a las condiciones existentes eligiendo la mejor opción en lo que respecta a localización y costos de obra.

CATASTRO Y URBANIZACIÓN:

En
es
que
form
cuen
eje
del



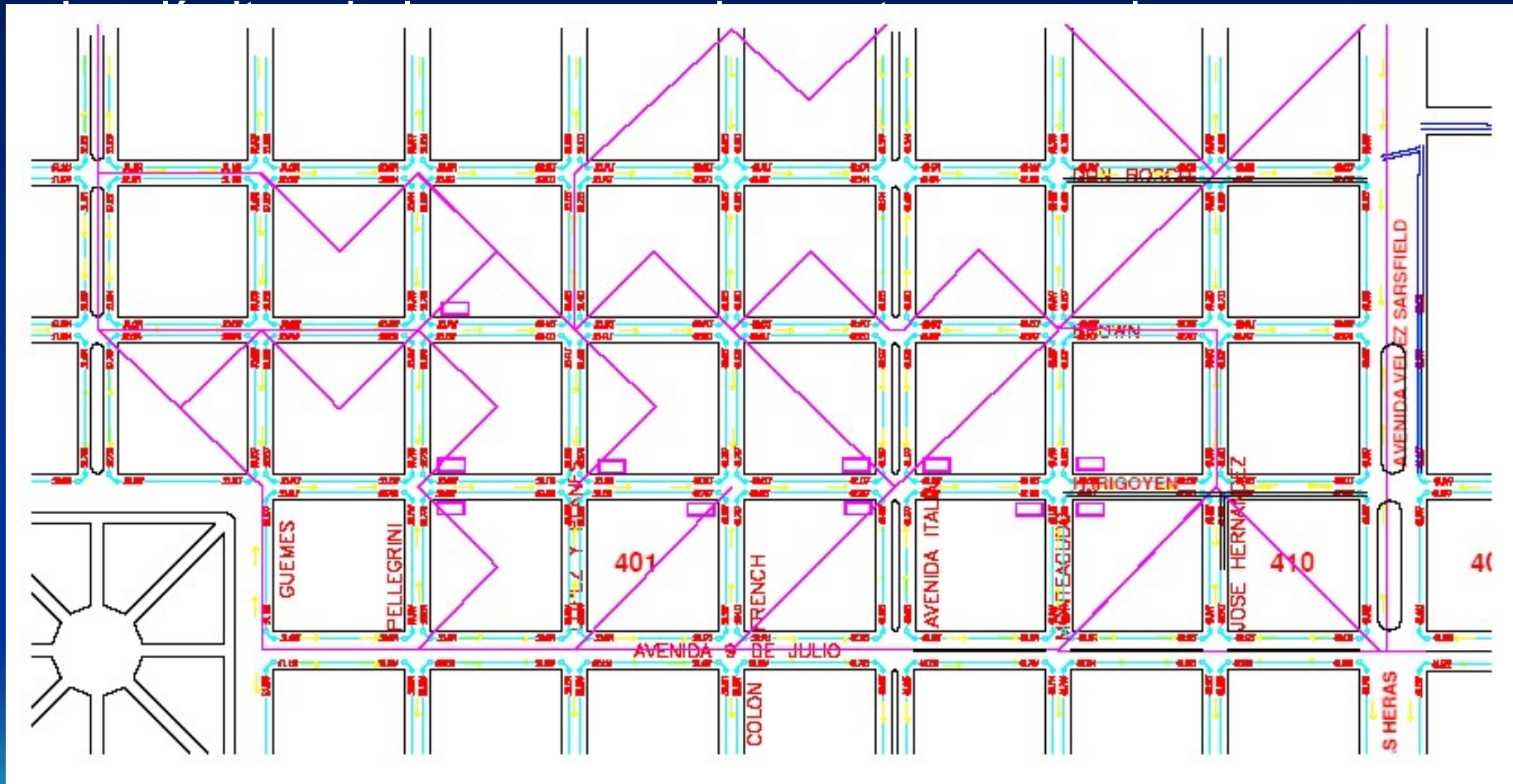
a lo
tral
a, el
una
n fo
s fo



Se deben conocer los siguientes elementos relativos a la urbanización de la cuenca de aporte:

- Tipo de ocupación de las áreas, Código de Planeamiento Urbano;
- Porcentajes de ocupación de los lotes, esto está identificado por el Factor de Ocupación Total (FOT) y Factor de Ocupación del Suelo (FOS).

DETERMINACIÓN DE LA CUENCA DE APORTE Y RED DE ESCURRIMINETO SUPERFICIAL:



Los sumideros:

A partir de estos elementos básicos, es necesario determinar por cualquiera de los métodos conocidos el **escurrimiento superficial directo que provoca una tormenta de diseño**, esto incluye conocer el caudal pico, volumen y forma del hidrograma para un tiempo de recurrencia (TR) acorde con la obra que se proyecta.

En **HIDROLOGÍA URBANA** existen dos métodos consagrados que permiten este cálculo, ellos son: el **Método Racional**, aplicable a cuencas urbanas de áreas inferiores a 3km², y los métodos basados en la teoría del **Hidrograma Unitario**, aplicables en cuencas de áreas mayores. Son también aplicables **modelos de simulación**.

CÁLCULO POR EL METODO RACIONAL

$$Q_p = C \times I \times A / 360$$

Donde:

Q_p : Caudal Pico en [m³/s]

C : coeficiente de escorrentía

I : Intensidad media en [mm/h]

A : Área de la cuenca en [km²]

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA (C):

Lo obtenemos de la tabla 15.1.1 de la página 511 del libro “Hidrología Aplicada”, Ven Te Chow - Maidment - Mays.

Ocupación del suelo	C
Edificación muy densa: partes centrales, densamente pobladas de ciudades con calles pavimentadas	0,70 a 0,95
Edificación no muy densa: partes adyacentes al centro, de menor densidad de habitantes, con calles pavimentadas	0,60 a 0,70
Edificación con pocas superficies libres: partes residenciales con construcciones cerradas, calles pavimentadas	0,50 a 0,60
Edificación con muchas superficies libres: partes residenciales con calles pavimentadas pero con muchas áreas verdes	0,25 a 0,50
Suburbios con alguna edificación: partes semiurbanas con pequeña densidad de construcciones	0,10 a 0,25
Parques y campos de deportes: partes rurales, áreas verdes, superficies arborizadas, parques ajardinados y campos de deporte sin pavimentos	0,05 a 0,20

INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN (I):

La intensidad de precipitación [mm/h] la obtendremos de las curvas IDF que se componen de una frecuencia que se...

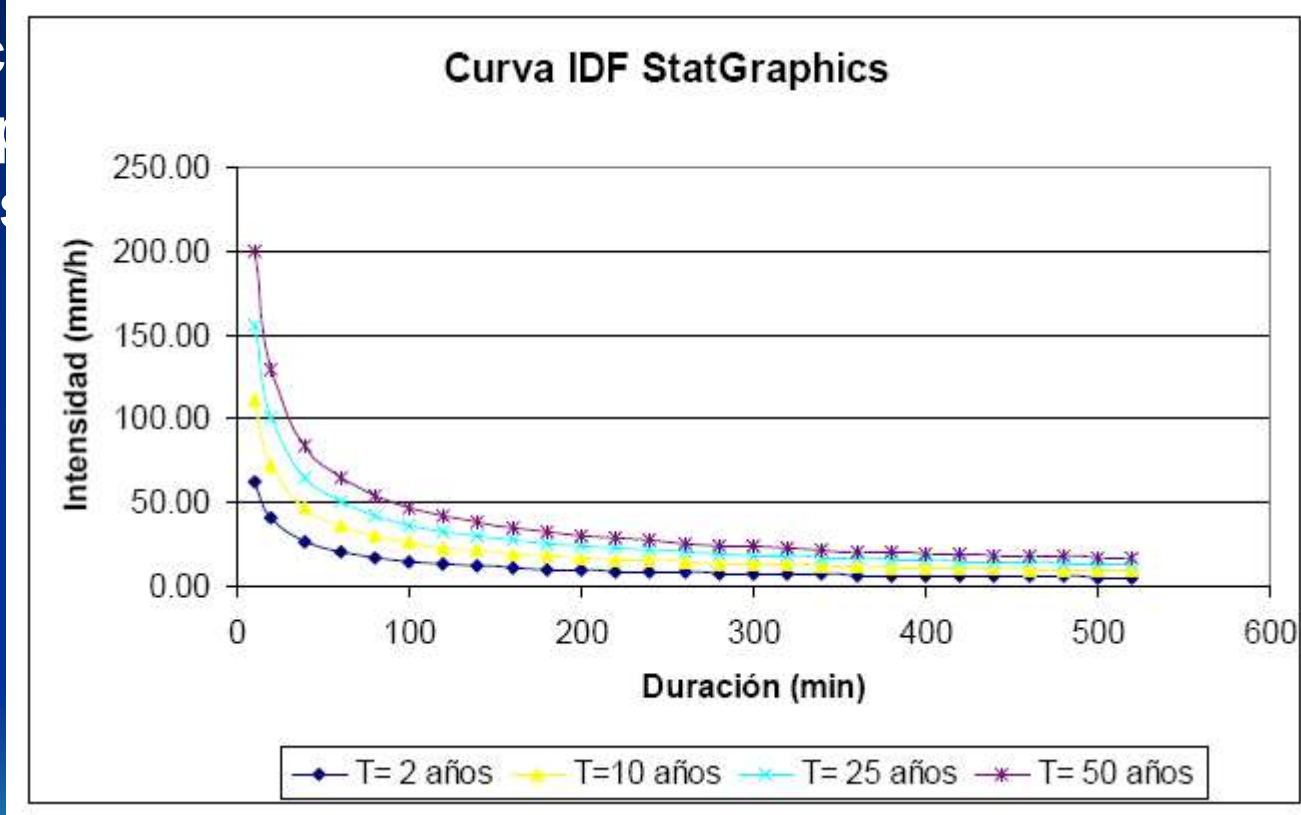


Table 15.2.4 Summary of Time of Concentration Formulas

Method and Date	Formula for t_c (min)	Remarks
Blanchet (1916)	$t_c = 0.0078L^{0.776} A^{0.385}$	Developed from SCS data for urban and rural basins in Tennessee
Kinematic wave formulas (Morgali and Linsley (1965); Aron and Erborge (1973))	$t_c = \frac{0.94L^{0.6}n^{0.6}}{(i^{0.4}S^{0.3})}$ <p>L = length of overland flow, ft n = Manning roughness coefficient i = rainfall intensity in/h S = average overland slope ft/ft</p>	Overland flow equation developed from kinematic wave analysis of surface runoff from developed surfaces; method requires iteration since both i (rainfall intensity) and t_c are unknown; superposition of intensity–duration–frequency curve gives direct graphical solution for t_c .
SCS lag equation (U.S. Soil Conservation Service (1975))	$t_c = \frac{100L^{0.8}[(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900S^{0.5}}$ <p>L = hydraulic length of watershed (longest flow path), ft CN = SCS runoff curve number S = average watershed slope, %</p>	Equation developed by SCS from agricultural watershed data; it has been adapted to small urban basins under 2000 acres; found generally good where area is completely paved; for mixed areas it tends to overestimate; adjustment factors are applied to correct for channel improvement and impervious area; the equation assumes that $t_c = 1.67 \times$ basin lag.
Administration (1970)	$t_c = \frac{1.48L^{0.76}S^{-0.105}}{C}$ <p>C = rational method runoff coefficient L = length of overland flow, ft S = surface slope, %</p>	of Engineers; method is intended for use on airfield drainage problems, but has been used frequently for overland flow in urban basins.

TIEMPO DE RECURRENCIA (Tr):

Criterio “dual” de diseño:

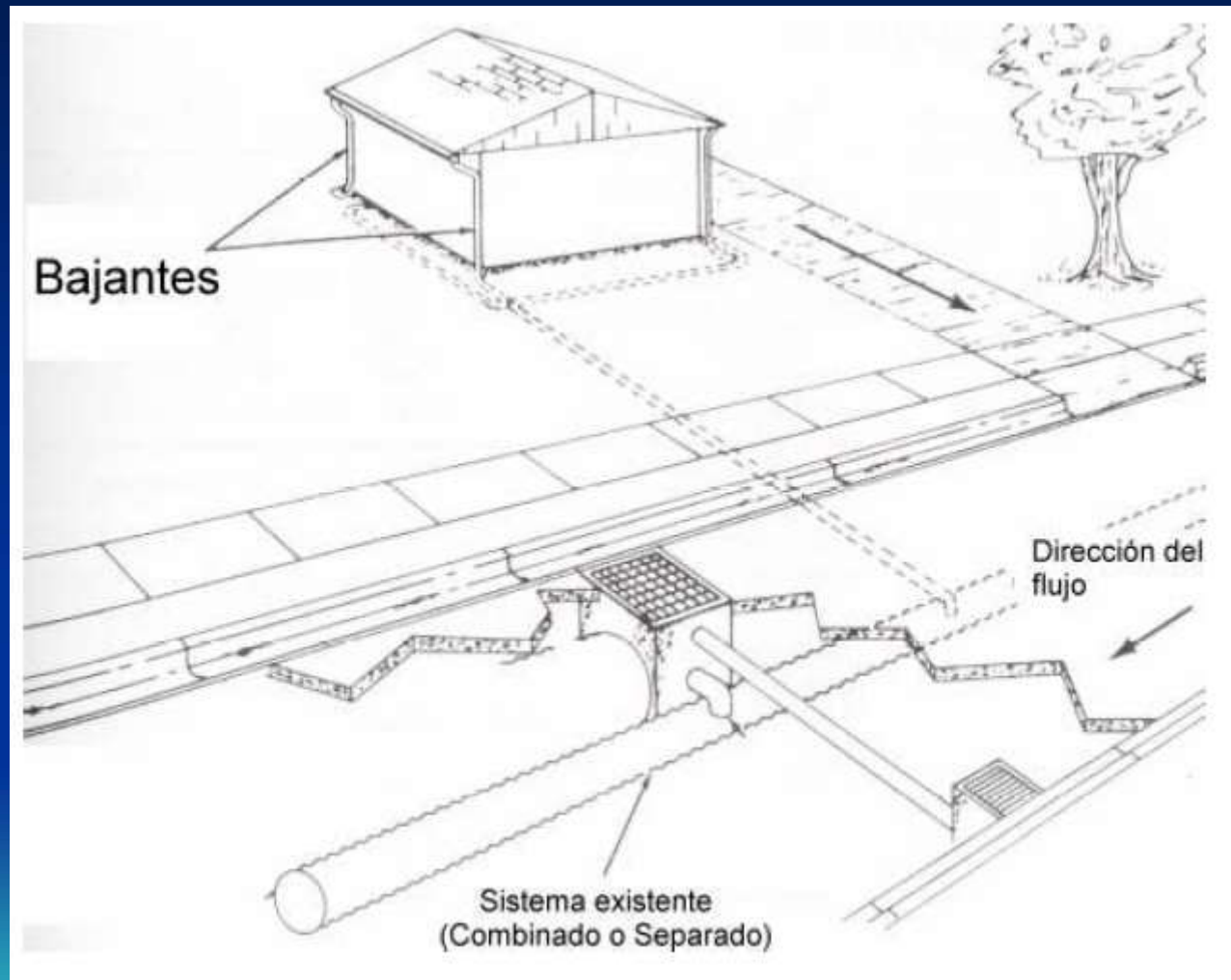
Sistema MENOR → **2 < TR < 10 años**

Sistema MAYOR → **TR = 100 años**
(escurrimiento en calles, cotas mínimas de umbrales,
laminación superficial y subterránea).

Obtenido el **caudal pico** para la cuenca o subcuenca en la que estamos trabajando, y a modo de simplificar se puede ponderar uniformemente el caudal por unidad de superficie.

A partir de estos datos obtenidos podemos comenzar a dimensionar el **SISTEMA DE DESAGÜES PLUVIALES.**

Elementos que componen el sistema de DESAGÜES PLUVIALES:



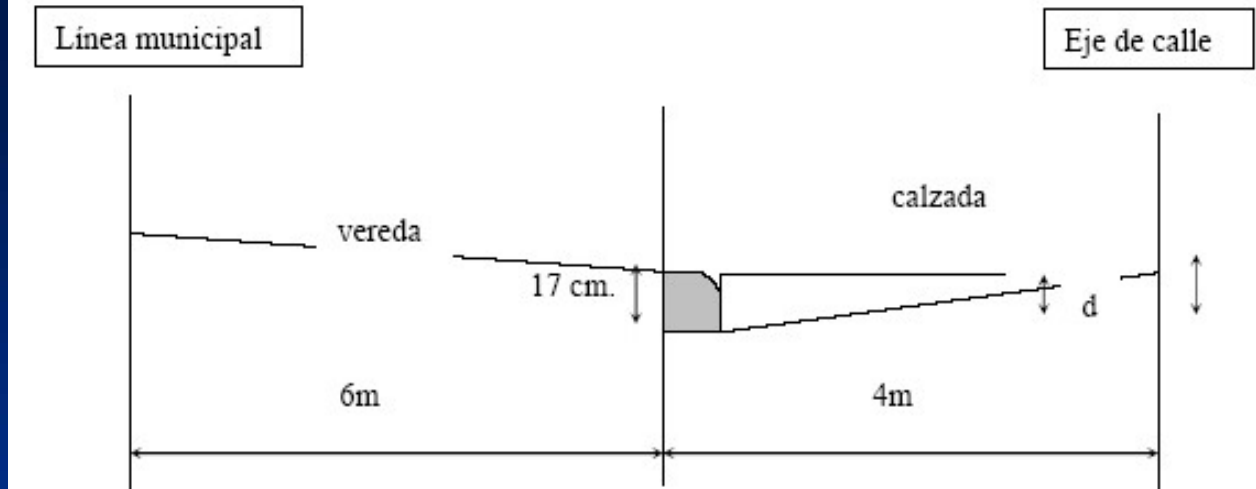
8.4. Desarenadores.

OBRAS HIDRÁULICAS: Ing. José A.
Serra

1. Cordón cuneta y cunetas de calles de tierra

Es el que **recibe los excesos provenientes de las manzanas**, este actúa como un canal, existen básicamente de **dos tipos** dependiendo de si la calle es de tierra o con pavimento, pero su funcionamiento es similar “como canal” es por ello que para su evaluación se utiliza la ecuación de Manning, colocando como **única condición para ello el tirante máximo permitido en las calles**, compatible con la protección que se pretende dar y la importancia de la vía de comunicación, de esta forma se distinguen:

1.1. Cordón cuneta. Calles pavimentadas



Utilizando la formula Izzard en base a la de Manning y sus supuestos:

$$Q = 0.377 \times \frac{Z}{n} \times d^{\frac{8}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Donde: Q_0 = Caudal total en la cuneta, en m^3/s

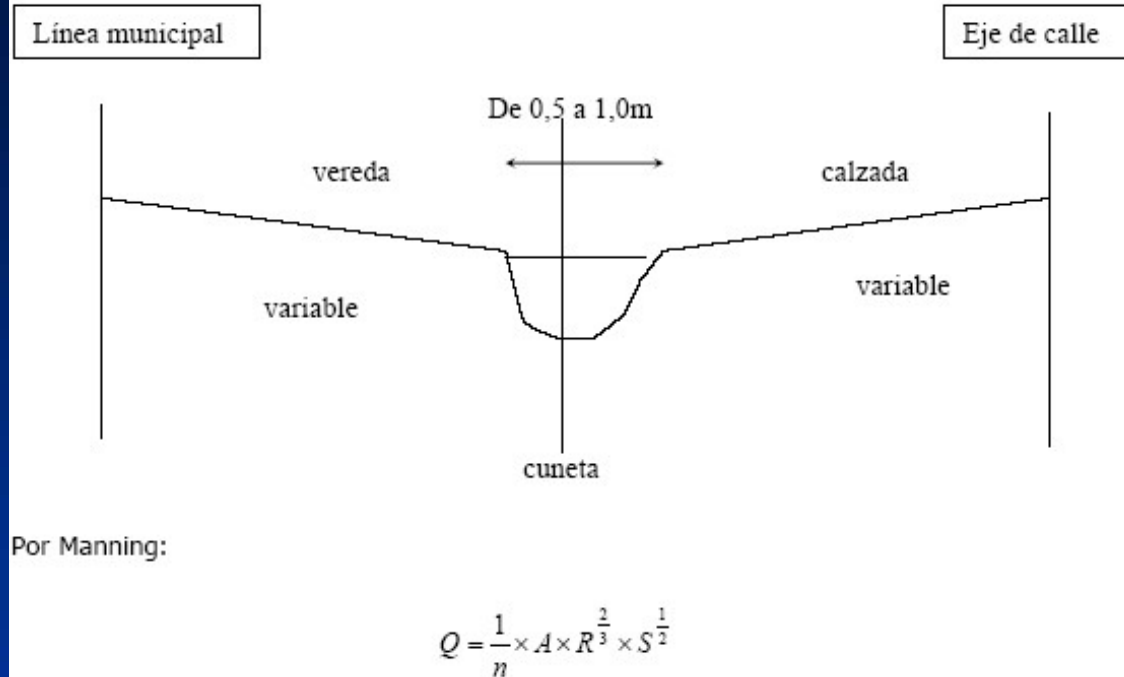
Z = recíproco de la pendiente transversal de la calle

n = valor n de Manning

S = pendiente longitudinal de la cuneta

d = profundidad del flujo en la cuneta, en m

1.2. Cuneta de calle de Tierra



El tratamiento para este caso es semejante a la hidráulica de canales abiertos sin revestimiento, teniendo en cuenta las situaciones particulares que presentan en una cuadra con cunetas en la cual se tienen un número variable de entradas vehiculares, las que generalmente son de caños de hormigón circular o de mampostería con tableros de madera u hormigón.

Valores de n de Manning que pueden ser utilizados:

CARACTERÍSTICAS	n
CANALES	
Rectilíneos con pastos de 15cm de altura	0,300 – 0,400
Rectilíneos con pastos y ramas de 30cm de altura	0,300 – 0,060
de hormigón premoldeados con buena terminación	0,011 – 0,014
de H° moldeados en el lugar con formas metálicas simples	0,012 – 0,014
de H° moldeados con encofrado de madera	0,015 – 0,020
CORDÓN CUNETA	
de asfalto suave	0,013
de asfalto rugoso	0,016
de concreto suave con pavimento de asfalto	0,014
de concreto rugoso con pavimento de asfalto	0,015
de pavimento de hormigón	0,014 – 0,016
de piedras	0,016

2. Boca de Tormenta (Imbornales)

2.1. Para calle con pavimento

Las podemos clasificar en varios tipos como por ejemplo:

A. de cuneta

B. de cordón

C. mixto

A. de cuneta

Un imbornal de cuneta es a que el agua pueda caer en de aguas abajo.

Su posición como lo muestr cuneta de la calzada de ho



$$Q = 1.7 \times P \times y^{2/3}$$

Donde: Q: caudal en m³/s.
P: perímetro de la reja en m.
y: profundidad de la lámina de hasta 12cm.

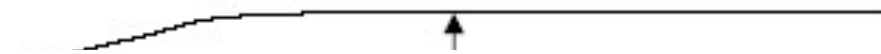
Para profundidades de Lámina de más de 42cm

$$Q = 2.91 \times A \times y^{1/2}$$

Donde:A: área de la reja, excluida las áreas de las barras m².
y: profundidad de la lámina.

Para las situaciones entre los 12 y 42cm de tirante, la ecuación que se utilice quedará a criterio del proyectista.

B. de cordón



$$Q = 3.01 \times L \times h^{3/2} \times \left(\frac{y_1}{h} \right)^{1/2}$$

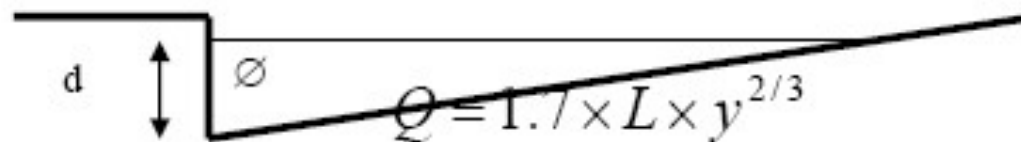
Donde:

Q: caudal [en m³/s].

L: longitud de la reja vertical [en m].

y₁: profundidad de la lámina en la abertura [en m]. $y_1 = y - h/2$

Para cargas de agua en la reja vertical de entre 1 y 2 veces la adopción de uno u otro método queda a criterio del proyectista.



Donde:

Q: caudal [en m³/s].

L: longitud de la reja vertical [en metros].

y: profundidad de la lámina.

3. Conductos de Vinculación:

El agua captada por los imbornales o bocas de tormentas necesita ser conducida hasta los conductos secundarios y principales a través de los conductos de vinculación. Estos elementos **se calculan como conductos a presión** que pueden ser **circulares o rectangulares**. Se calcula por ejemplo el mínimo diámetro o sección requerida y se selecciona el siguiente diámetro comercial, existiendo un valor mínimo determinado fundamentalmente por la facilidad de **limpieza** generalmente de 0,60m. Los **parámetros** fundamentales son básicamente el **material y la carga hidráulica**.

Apoyados por ejemplo en la ecuación de Manning cuando el conducto no está a presión, trabaja a sección llena y flujo uniforme, en estas condiciones el diámetro es:

$$D = \left(\frac{3.21 \times n \times Q}{\sqrt{S_o}} \right)^{3/8}$$

donde Q [m³/s] y S_o en [m/m], obteniendo el D en [m].

Para conductos a presión puede usarse entre otras la ecuación de Hazen – Williams:

$$J = 10.65 \times \left(\frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} \times D^{4.87}} \right)$$

J es la pérdida de carga unitaria en [m/m], Q el caudal de cálculo en [m³/s] y D el diámetro del conducto propuesto en [m], siendo C el coeficiente de rugosidad que depende de la naturaleza y el estado de las paredes

4. Conductos de Secundarios:

Estos conductos nacen a partir de la existencia del primer sumidero en el sistema de desagües, estos pueden ser de cualquier forma de sección, fundamentalmente se los debe diseñar para que trabajen a gravedad, con lo cual es aplicable por ejemplo la ecuación de Manning.

BIBLIOGRAFÍA:

- o CHOW-MAIDMENT-MAYS, Hidrología Aplicada (1994)
- o PILAR-DEPETTRIS-MENDIONDO-ROHRMANN, Estudio de la Hidrología Urbana en la Cuenca del Plata
- o PILAR-DEPETTRIS, Hidrología Urbana: Estimación del Parámetro Impermeabilidad
- o AYALA-GUTIERREZ, Hidrología Urbana: Efectos de la Urbanización en las Cuencas Urbanas de la Ciudad de Posadas
- o PILAR, Hidrología Urbana en AMGR
- o FACULTAD DE INGENIERÍA-UNIVERSIDAD DE CHILE, Seminario de Hidrología Urbana