

# ***APUNTE DE PROCESOS HIDROLOGICOS URBANOS***

- **GENERALIDADES**

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

Abastecimiento de agua → S. Drenaje o suelo  
Grandes sectores IMPERMEABILIZADOS;  
Reducción de la infiltración natural y  
recarga de acuíferos

Aumento del Qbase (algunos casos)

↓  
erosión de márgenes  
erosión – sedimentación del lecho

Cuantificación:  $\Delta Q$  pico 50 veces } cuencas experimentales  
 $\Delta VOL_{ESC}$  30 veces }

ABSTRACCIONES de CUENCA rurales:  $I_a$ , almacenamiento en depresiones, infiltración demoran inicio del ESCURRIMIENTO.

En cuencas urbanas HAY ESCURRIMIENTO en CASI TODAS las lluvias.

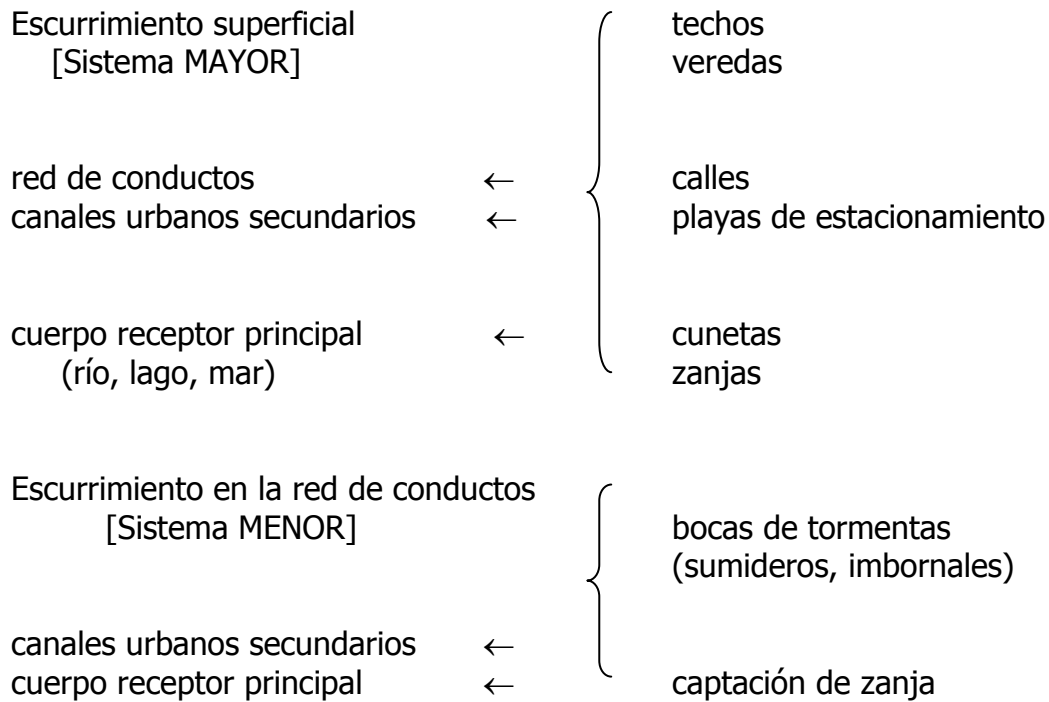
CALIDAD DEL AGUA URBANA: contaminación por fuentes extendidas.

- incremento de nutrientes
- contaminación fecal

- contaminación inorgánicos (metales pesados, hidrocarburos, herbicidas, pesticidas)

EPA (EEUU): 20 % contaminación fluvial proviene de fuentes urbanas

• **COMPONENTES DEL SISTEMA PLUVIAL URBANO**



Capacidad de descarga de conductos → lluvias de diseño máximas para d determinadas y TR = 2 – 5 años.

Lluvias con TR > TR diseño → excedentes en el

Sistema superficial



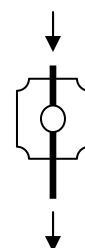
- Inundaciones leves, moderadas o catastróficas
- Trasvases de cuencas superficiales
- Almacenamientos superficiales
- Conductos a presión

• **METODOLOGIAS DE DISEÑO PARA DESAGÜES PLUVIALES**

Adecuada RED DE CONDUCTOS

Tránsito vehicular y peatonal en lluvias frecuentes.

Proyecto del sistema  $\phi$  conductos  
Pendientes



Distribución – localización de conductos  
 Boca de tormenta ↙  
 Boca de registro ↘

Cruce  
 $\Delta$  pendientes  
 + fuertes

Caudal máximo de diseño → Método RACIONAL

Hidrogramas de diseño → HU Colorado (CUHP, USA)

Modelos hidrológicos conceptuales → NASH



Necesarios para embalses superficiales o subterráneos.

Países desarrollados: CONDUCTOS CON COMPUERTAS para aprovechar al máximo la CAPACIDAD de ALMACENAMIENTO de la RED

Análisis de EVENTOS MAYORES al de DISEÑO: modelos hidrológicos – hidrodinámicos (incluyendo submodelos de transporte de sedimentos y contaminantes)

### Ejemplos

- SWMM (Huber, 1982) EPA oficial
- ILLUDAS (Univ. Illinois)
- MOUSE (Lindberg – Jorgensen, 1986) – Laboratorio Hid. Dinamarca

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).

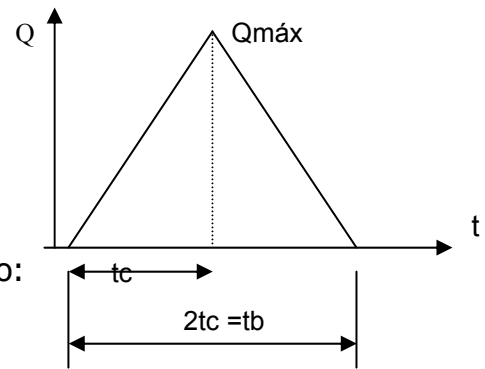
### **CRITERIOS BASICOS DE PROYECTO**

- Flujo en conductos, a superficie libre, conductos de sección circular;
- $\emptyset$  conducto: menor  $\emptyset$  comercial disponible con  $Q \geq Q_d$ ;
- Tapada mínima para protección contra cargas externas;
- Velocidad mínima de escurrimiento para AUTOLIMPIEZA;
- Velocidad máxima para prevenir erosión interna;
- $\emptyset$  conducto a.a  $\geq \emptyset$  conductos de llegada al NODO;
- Sistema conductos → red dentrítica hacia a.a. (sin circ. cerrado)
- Lluvia de diseño del sistema MENOR: ha siempre  $\leq h$  cordón

CAUDAL MAXIMO DE DISEÑO: Método Racional (Mulvaney, 1850)

Cuenca de área  $A$ , con tiempo de concentración =  $t_c$ , para lluvia de  $D = t_c$ , el  $Q$  generado en la salida es  $Q_{m\acute{a}x}$ .

$$Q = \frac{C * i(D, Tr) * A [km^2]}{360 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}$$



puede adoptarse un hidrograma triangular simplificado:

$$t_p = t_c \quad \text{y} \quad t_b = 2 t_c$$

- Intensidad de lluvia (i) es constante en tiempo y espacio
- Pérdidas constantes durante el EVENTO (coeficiente de flujo  $\phi$  constante)
- Modelo de transformación P – Q lineal estacionario (HUI)

$\Rightarrow C = \phi * E$  siendo E: coeficiente de laminación, retardo.  
donde:  $E \leq 1$

$$y \ \epsilon = \int_0^D u(t) dt \quad U(t) \rightarrow \text{HUI de la cuenca}$$

cuando D (duración lluvia) es  $\geq t_b$  del HUI  $\Rightarrow \epsilon = 1$  y  $C = \phi$

Aplicado a cuencas pequeñas, de 1 a 2,5 km<sup>2</sup>.

- Coeficiente de Escorrentía C, f (IMP, S, almacenamiento superficial) (ip, POROSIDAD, vegetación)

Áreas heterogéneas: coeficiente de escorrentía ponderado

$$C = \frac{\sum_{K=1}^M C_K A_K}{A}$$

- Intensidad Media Máxima de lluvia

I máx  $\rightarrow$  curvas  $i - D - tR$   
 $\downarrow \quad \downarrow$   
 $t_c \quad 2 - 10 \text{ años}$

- Tiempo de Concentración

$$TC = t_m + t_{ca} \leftarrow \text{flujo encauzado}$$

$\downarrow$

Flujo mantiforme

Tc crítico: mayor  $t$  para los diferentes recorridos.

**Fórmulas empíricas**

- KIRPICH (cuena rurales 3% < S < 10 %, A < 50 has)
- CALIFORNIA CULVERTS PRACTICE (variante de la anterior)
- FEDERAL AVIATION AGENCY (aeropuertos, flujo mantiforme) (FAA)
- UDFCD, Denver, Col (variante anterior); Urban Drainage and Flood Control District
- METODO CINEMATICO (SCS)

$$tc = \frac{1000}{60} \sum \frac{Li}{Vi} \quad \text{Velocidad media del flujo (Vi)}$$

[minutos]

por tramos (Li)

calcular por Manning, con  $n$  apropiados.

- ONDA CINEMATICA (flujo mantiforme, modelo de O.C.)

$$tc = \frac{441(L * n)^{0.60}}{S^{0.30} i^{0.40}}$$

← proceso iterativo →

↓

Kirpich → tc → IDR → i

Área de Drenaje (A) constante

Eventuales subcuencas darán  $\sum_{K=1}^M A_K = A$

• **DETERMINACIÓN del DIAMETRO de CONDUCTOS**

Conocido  $Q_{D\text{máx}}$  → conducto →  $\phi$  (flujo a gravedad)  
(TR 2- 10)

y flujo uniforme:  $Sf = So$        $Q = \frac{1}{n} * Ac * R_H^{2/3} So^{1/2}$

$$Ac = \frac{\pi\phi^2}{4}; R_H = \frac{Ac}{Pw} = \frac{\pi\phi^2/4}{\pi\phi} = \frac{\phi}{4}$$

$$Q = \frac{0.312}{n} \phi^{8/3} S_o^{1/2}$$

$$\phi = \left[ \frac{3.21nQ}{S_o^{1/2}} \right]^{3/8}$$

• **VELOCIDAD DE AUTOLIMPIEZA DE CONDUCTOS**

$Q_{D\text{ máx}} \rightarrow V \rightarrow$  transporte efectivo de partículas.

$\Rightarrow V > U_{*c}$  velocidad crítica para inicio del movimiento

$$T_* = \frac{U_*^2}{(S-1)gd} \quad \text{tensión de corte adimensional}$$

$$S = \frac{P_s}{\rho} \quad \text{densidad específica del sedimento}$$

$$U_* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} \quad \text{velocidad de corte}$$

$T_b =$  tensión de corte media s/el fondo

$$T_b = \rho g R_h S_o$$

$$U_* = \sqrt{g R_H S_o}$$

y la velocidad de corte crítica  $U_{*c} = \sqrt{(S-1) \cdot g \cdot d \cdot \tau_{*c}}$

Tensión de corte adimensional crítica (curva de SHIELDS)

$$T_{*c} = 0.22 D_*^{-0.9} + 0.06 e^{\left( -17.77 D_*^{-0.9} \right)}$$

$\uparrow$   
 $\downarrow$  diámetro adimensional

$$D_* = d \sqrt[3]{\frac{(S-1)g}{\gamma^2}} \quad \gamma : \text{Viscosidad cinemática}$$

Para garantizar AUTOLIMPIEZA:  $U_* > U_{*C}$

Si  $W_s$ : Velocidad de caída de la partícula

$$\frac{U_{*CS}}{W_s} = \begin{cases} 4/D_* & \text{si } 1 > D_* \leq 10 \\ 0.4 & \text{si } D_* > 10 \end{cases}$$

$\Rightarrow$  si  $U_* < U_{*C}$  no se cumple la autolimpieza

$U_{*C} < U_* < U_{*CS}$  hay autolimpieza con transporte de fondo

$U_* > U_{*CS}$  hay autolimpieza con transporte en suspensión

$U_{*C}$  es válida para  $d > 0,063\text{mm}$

Mezclas no consolidadas de sedimentos cohesivos.  $U_{*C} \rightarrow 0.01 - 0.05\text{m/s}$

### • **IMPACTOS AMBIENTALES DE LA URBANIZACIÓN**

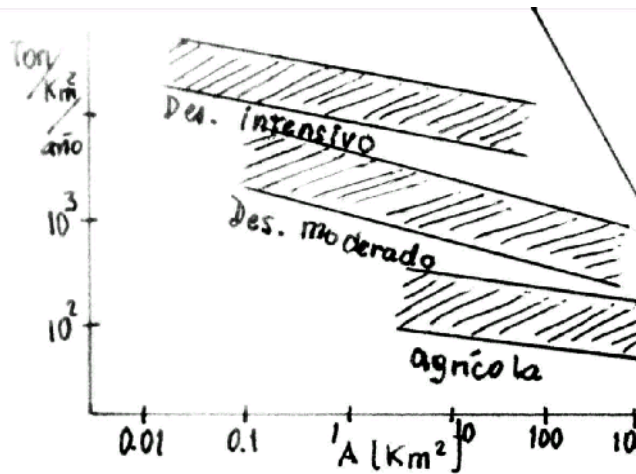
- Degradación de la CALIDAD del agua drenada por los desagües pluviales y CONTAMINACIÓN de acuíferos.

Construcciones  
Sedimentos Limpieza de terrenos para loteos  
Construcción de calles, avenidas, autopistas

Cuenca NATURAL – Cuenca en desarrollo – Cuenca desarrollada

Consecuencias ambientales  $\rightarrow$  obstrucción del drenaje  
(reducción capacidad de los conductos, ríos, lagos)  
desarrollo vegetación

transporte de contaminantes  
(agua de lavado de calles + sedimentos)



- Sistemas unitarios o combinados
- Sistemas separativos o duales (red pluvial y cloacal separadas).

Factores de CALIDAD del agua pluvial

Limpieza urbana, frecuencia intensidad de precipitación, dist. temporal y espacial época del año tipo de uso del suelo urbano

Parámetros vinculados con esos factores

DBO (mg/l)  
sólidos totales  
pH  
coliformes (NMP/100ml)  
hierro  
plomo  
amonio

Contaminación de ACUIFEROS por

- rellenos sanitarios
- Infiltración indiscriminada de aguas pluviales contaminadas por basura
- Sedimentos calles

Desarrollo urbano sobre arroyos – ríos → Reducción de Q en el estiaje  
Aumento Q<sub>sup</sub> x impermeabilización → acuífero no abastecido → reducción capacidad del río.  
Esgurrimiento debido a descargas clandestinas de cloacas en los desagües.