

# CONTROL DE INUNDACIONES

GUSTAVO A. SILVA MEDINA  
BOGOTÁ, COLOMBIA



---

Última revisión: 23 de Julio de 2003

---

## CONTENIDO

- [Definición.](#)
  - [Crecientes.](#)
  - [Mitigación de los efectos de las inundaciones.](#)
  - [Bibliografía](#)
- 

## DEFINICION

Se conocen como **Zonas Inundables** las que son anegadas durante eventos extraordinarios, por ejemplo aguaceros intensos, crecientes poco frecuentes o avalanchas. No se incluyen entre las zonas inundables los cauces mayores o rondas de los ríos, los cuales son ocupados con frecuencia del orden de una vez en 10 años.

Las Zonas inundables se clasifican de acuerdo con las causas que generan las inundaciones. Estas causas son las siguientes:

1. Encharcamiento por lluvias intensas sobre áreas planas,
2. Encharcamiento por deficiencias de drenaje superficial.
3. Desbordamiento de corrientes naturales.
4. Desbordamiento de ciénagas.
5. **Avalanchas** producidas por erupción volcánica, sismos, deslizamientos y formación de presas naturales.
6. Obstáculos al flujo por la construcción de obras civiles: Puentes, espolones y obras de encauzamiento, viviendas en los cauces y represamientos para explotación de material aluvial.
7. Sedimentación.

Estas causas pueden presentarse en forma individual o colectiva.

Las inundaciones de que trata este artículo son eventos que se presentan en zonas aledañas a los cauces de las corrientes naturales por causa de desbordamiento de las mismas. Las áreas que están sujetas a las inundaciones se denominan **Llanuras de Inundación.**

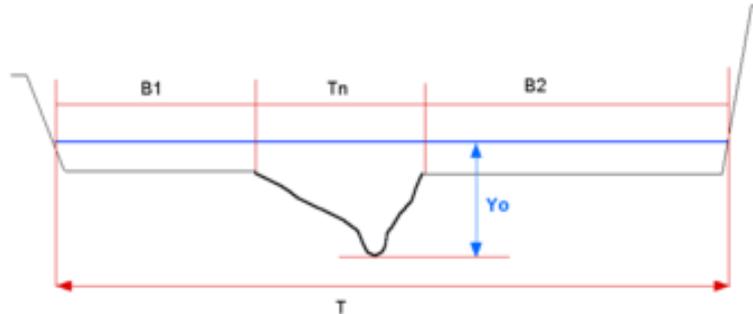
En la sección típica simplificada se observan el canal principal y las llanuras de inundación.

Cuando se presenta la inundación, por desbordamiento del canal principal, el espejo del agua queda conformado por la boca del canal principal y por las dos franjas inundables. Este ancho total se denomina Zona Inundable y es igual a  $T$ , donde:

$$T = T_n + B_1 + B_2$$

La boca del canal principal tiene un ancho  $T_n$ ; las franjas inundables o Llanuras de Inundación,  $B_1$  y  $B_2$ , están limitadas por condiciones topográficas o por diques de encauzamiento.

El nivel del agua en la sección depende del caudal, de las condiciones hidráulicas del canal y del ancho de la zona inundable.



**Yo es la profundidad máxima del agua en la sección de flujo.**

Las magnitudes y los efectos de las inundaciones dependen de **las características de las crecientes** que son generadas por lluvias intensas, y de otros eventos relacionados con ellas, como son los deslizamientos de taludes, la formación y el rompimiento de presas naturales, y las obstrucciones al flujo por destrucción de obras civiles.

En lechos aluviales el transporte de sedimentos juega un papel importante en las variaciones que sufre el canal principal a lo largo del tiempo y en su capacidad para transportar las crecientes. Los procesos de depósito y de socavación se activan de acuerdo con las magnitudes de las velocidades del agua; así, durante los estiajes y los períodos de aguas medias predominan los fenómenos de depósito porque las velocidades son relativamente bajas y la capacidad de transporte de sedimentos es reducida. Cuando llegan las crecientes se aumentan las velocidades de flujo y por tanto se incrementan los procesos erosivos y los ataques contra las márgenes.

Los problemas de inundaciones son particulares y pueden ocurrir tanto en cauces de montaña como en cauces de llanura, aun cuando son más frecuentes en estos últimos.

Algunos de los problemas que se presentan con las inundaciones son los siguientes:

- Anegamiento de las llanuras de inundación y daños en viviendas, vías de comunicación, y producción agropecuaria, con pérdida de vidas humanas en algunos casos.
- **Drenaje** lento de las áreas inundadas las cuales se convierten en depósito de aguas prácticamente estancadas. Esta situación genera problemas sanitarios sobre la población.
- Ataques del flujo sobre las márgenes del cauce principal lo cual produce cambios de curso permanentes y pérdida de áreas productivas.

En Colombia se producen inundaciones sistemáticamente en zonas perfectamente definidas como se desprende del siguiente aparte tomado del "Estudio Nacional de Aguas" publicado por el Departamento Nacional de Planeación en 1985:

**El problema de inundaciones en el país puede dividirse en dos grupos, cada uno con características diferentes. El primero de ellos se refiere a la inundación de extensas zonas con vocación agrícola. Estas zonas permanecen bajo el agua durante una gran parte del año, como consecuencia de la imposibilidad de drenaje durante la estación invernal. Por otro lado, están las características avenidas de los ríos, con período de retorno de varios años, las cuales ocasionan cuantiosas pérdidas. El más claro ejemplo del primer tipo de problemas se presenta en la Depresión Momposina, hacia la cual drenan los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge y Cesar, y de donde se desprende el Canal del Dique. Dentro de esta zona existen estudios básicos llevados a cabo por el Proyecto Colombo-Holandés. Como parte de este trabajo**

se adelantó el Proyecto Nechí-San Jacinto identificado como el de más alta prioridad dentro del conjunto de posibles proyectos en la planicie del Bajo Magdalena.

A pesar del gran potencial agrícola en la mencionada zona, la recuperación de tierras envuelve innumerables problemas de tipo social, ecológico e hidráulico los cuales son de difícil solución técnica y política. La adecuación de tierras en esta zona implica la desecación de ciénagas con los consiguientes perjuicios para la vida acuática, creando grandes conflictos sociales debido a intereses disímiles entre los pescadores y los agricultores que se asientan en la zona. Así mismo, los proyectos de esta naturaleza requieren de la construcción de diques que impidan el paso del agua hacia la zona adecuada. Esto deja la zona en condiciones altamente vulnerables, puesto que una falla de los diques ocasiona inundaciones de gran magnitud y cuantiosas pérdidas, debido al uso intensivo de la tierra en la zona. Además, la construcción de diques a lo largo de los grandes ríos hace que se pierda el almacenamiento natural existente y, por lo tanto la amortiguación de las crecientes creada por dicho almacenamiento, lo que perjudica a las áreas localizadas aguas abajo de la zona en cuestión.

" Los problemas anteriores ya se han detectado en el sur del Atlántico y en otras áreas vecinas. Esto debe servir de alarma para que en la adecuación de tierras sujetas a inundaciones extensas se preste la debida atención a los aspectos sociales, ecológicos y de ingeniería, los cuales solo pueden analizarse dentro de un contexto de desarrollo integrado de la región.

" Las zonas donde se presentan inundaciones ocasionales se encuentran diseminadas a lo largo de casi todo el país. En general, constituyen zonas altamente desarrolladas tanto rurales como urbanas, debido a que los prolongados períodos de retorno involucrados en dichos fenómenos hacen que las personas afectadas subestimen la magnitud del riesgo. Para la protección de áreas sujetas a este tipo de inundaciones se deben considerar no solo aspectos hidrológicos sino también económicos. "

---

## CRECIENTES.

Las **crecientes** son eventos extraordinarios que se presentan en los cauces de las corrientes naturales durante las cuales las magnitudes de los caudales superan con creces los valores medios que son normales en dichas corrientes.

---

## MITIGACION DE LOS EFECTOS DE LAS INUNDACIONES.

Son muy pocos los casos en los cuales es posible solucionar los problemas de inundaciones de forma permanente. Algunas de las razones más importantes que no permiten la solución son el costo de las obras, los conflictos socioeconómicos de las regiones que conllevan intereses en el uso de la tierra, y la escasa factibilidad económica de este tipo de proyectos. Por esta razón se utilizan los términos **Control de Inundaciones** o **Mitigación de los efectos de las Inundaciones** para indicar que estos proyectos tratan de prevenir daños mayores y ofrecen protección hasta un cierto nivel de riesgo.

El costo de las obras está en función de la frecuencia del evento de inundación. En la protección de campos agrícolas, por ejemplo, la frecuencia de diseño contra inundaciones puede estar entre 5 a 25 años porque eventos mayores pueden requerir de obras que valen más que los cultivos que se van a proteger. En otros casos, en los cuales las inundaciones pueden ocasionar pérdidas de vidas humanas puede ser preferible instalar sistemas de alerta o reubicar la población que se encuentra en peligro, antes que proyectar obras para frecuencias de 10.000 años o más.

Dependiendo de las características particulares de los casos que requieren de estudios de control de inundaciones, el procedimiento general que se sigue es el siguiente:

1. Delimitar las zonas inundables. Puede hacerse utilizando cartografía, fotografías aéreas, topografía de campo, encuestas e inventario de eventos históricos.
2. Determinar las causas de las inundaciones. Pueden ser desbordamientos, encharcamientos, deficiencias de drenaje, avalanchas, obstrucciones o sedimentación.
3. Realizar estudios Geológico, Geotécnico, Socioeconómico, Ambiental e Hidrológico para delimitar cuencas vertientes, analizar el uso de la tierra y las corrientes naturales que afectan la zona que se va a proteger, cuantificar clima, lluvias y caudales líquidos y sólidos. Definir magnitudes de los eventos extremos que pueden

generar inundaciones.

4. Realizar estudios económicos para cuantificar los perjuicios que han causado inundaciones anteriores y para estimar los perjuicios futuros, con niveles de riesgo determinados, sobre las actividades agropecuarias, industriales y habitacionales de la zona.
5. Realizar estudios Geomorfológicos y de Hidráulica Fluvial para conocer la dinámica fluvial y estimar capacidades de los cauces, estabilidad, trayectorias y tendencias futuras, delimitación de zonas inundables para eventos extraordinarios e incidencia de obras civiles existentes y proyectadas.
6. Diseñar las obras de mitigación de los efectos de las inundaciones y estimar sus costos.

De una manera general los proyectos de control de inundaciones estudian las siguientes opciones:

- Dejar las cosas como están y convivir con el problema.
- Establecer sistemas de alerta para que la población pueda ponerse a salvo.
- Proyectar la construcción de obras civiles:
  - Terraplenes protegidos por obras marginales.
  - Muros en concreto o en gaviones.
  - Diques longitudinales, denominados también Jarillones.
  - Embalses de regulación.
  - Canales de desviación o By-pass.

Los detalles de diseño de las obras se encuentran en los textos que aparecen en la Bibliografía y en otras publicaciones especializadas.

---

## BIBLIOGRAFIA.

### General.

**Bedient, P; Huber, W. HYDROLOGY AND FLOODPLAIN ANALYSIS. Addison Wesley. 1988.**

**Chow, Ven Te et al. APPLIED HYDROLOGY. McGraw-Hill. 1988. ( Existe una edición en Español ).**

**Bell, F. GENERALIZED RAINFALL-DURATION-FREQUENCY RELATIONSHIPS. American society of Civil Engineers. Journal Hydraulics Division. Vol 95. 1969.**

**Hershfield, D. ESTIMATING THE PROBABLE MAXIMUM PRECIPITATION. American Society of Civil Engineers. Journal of Hydraulics Division. No. 87. 1961.**

**Kirkby, M. HILLSLOPE HYDROLOGY. Wiley. 1978.**

**Laurenson, E; Pilgrim, D. LOSS RATES FOR AUSTRALIAN CATCHMENTS AND THEIR SIGNIFICANCE. Journal Institution of Engineers of Australia. Vol. 35. 1963.**

**Schulz, E et al. (Editors) FLOODS AND DROUGHTS. Water Resource Publications. Fort Collins Colorado. 1972.**

**Silva, G. HIDROLOGIA BASICA. Publicaciones. Facultad de Ingeniería. Instituto de Ensayos e Investigaciones. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 1998.**

### Análisis estadístico y probabilidades.

**Benjamin, J; Cornell, C. PROBABILITY, STATISTICS AND DECISION FOR CIVIL ENGINEERS. McGraw-Hill. 1970.**

**Haan, Ch. STATISTICAL METHODS IN HYDROLOGY. Iowa State University Press. 1977.**

**McCuen, R. MICROCOMPUTER APPLICATIONS IN STATISTICAL HYDROLOGY. Prentice Hall. 1993.**

**Shahin, M. STATISTICAL ANALYSIS IN WATER RESOURCES ENGINEERING. Applied Hydrology Monographs. A. Balkema. 1993.**

**Yevchevich, V. PROBABILITY AND STATISTICS IN HYDROLOGY. Water Resource Publications. Fort Collins Co. 1972.**

#### **Método Racional e Hidrogramas Unitarios.**

**Clark C. O. STORAGE AND THE UNITGRAPH. Transactions American Society of Civil Engineers. Vol 110. 1945.**

**Harner & Flint. THE RUNOFF COEFFICIENT. Transactions American Society of Civil Engineers. Vol 101. 1936.**

**Linsley, Kohler, Paulhus. HYDROLOGY FOR ENGINEERS. 3rd. Ed. McGraw-Hill. 1985.**

**Maidment, D. HANDBOOK OF HYDROLOGY. McGraw-Hill. 1993.**

**Snyder, F. SYNTHETIC UNITGRAPHS. Transactions American Geophysical Union. AGU. Vol 19. 1938.**

**Taylor Schwartz. UNIT HYDROGRAPH LAG AND PEAK. Transactions American Geophysical Union. AGU. Vol 38. 1952.**

**U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. National Engineering Handbook. Section 4. HYDROLOGY.**

#### **Modelos matemáticos.**

**Biswas, Asit. SYSTEMS APPROACH TO WATER MANAGEMENT. McGraw-Hill. International Student Edition. 1976.**

**Hoggan, D. COMPUTER ASSISTED FLOOD PLAIN HYDROLOGY AND HYDRAULICS. McGraw-Hill. 1989.**

**Viesmann; Knapp. INTRODUCTION TO HYDROLOGY. Harper & Row Publishers. 3rd Edition. 1985.**

#### **Control de Inundaciones.**

**Chaturvedi, M. WATER RESOURCES SYSTEMS PLANNING AND MANAGEMENT. Chapter 11: Multipurpose Developmental Issues: Flood Management. Tata-McGraw-Hill. New Delhi. 1987.**

**Departamento Nacional de Planeación. ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS. Fonade. Colombia. 1985.**

**Ghosh, S. FLOOD CONTROL AND DRAINAGE ENGINEERING. Oxford. 1986.**

**Grigg, S. WATER RESOURCES PLANNING. Chapter 13: Flood Control Planning. McGraw-Hill. 1985.**

**Gordon, N; McMahon, Th; Finlayson, B. STREAM HYDROLOGY. John Wiley and Sons. 1992.**

**Hoggan, D. COMPUTER-ASSISTED FLOODPLAIN HYDROLOGY & HYDRAULICS: Featuring the U:S. Army corps of Engineers´ HEC-1 and HEC-2 Software Systems. McGraw-Hill. 1989.**

**James and Lee. ECONOMICS OF WATER RESORCES PLANNING. Chapter 10: Flood Control. McGraw-Hill. 1971.**

**Kuiper, Edward. ECONOMIA EN PROYECTOS DE RECURSOS HIDRAULICOS. Cidiat. Mérida. Venezuela.**

1969.

**Linsley, R; Franzini, J. WATER RESOURCES ENGINEERING. Ch 20: Flood Damage Mitigation. McGraw-Hill. 3rd Edition. 1979.**

**LópezC. Filiberto. DIQUES PARA LA CORRECCION DE CURSOS TORRENCIALES Y METODOS DE CALCULO. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias del Ministerio de Agricultura. Madrid. España. 1986.**

**Maidment, D. (Editor). HANDBOOK OF HYDROLOGY. Chapter 28: Hydrologic Design for Urban Drainage and Flood. McGraw-Hill. 1993.**

**Mays, L. WATER RESORCES HANDBOOK. Part 4: Water Resources Excess Management. McGraw-Hill. 1996.**

---

[Hidráulica Fluvial](#)

# ELEMENTOS Y ESTRUCTURAS DE DRENAJE

GUSTAVO A. SILVA MEDINA  
BOGOTÁ. COLOMBIA



Puente. Vía Pamplona-Cúcuta  
Norte de Santander. Colombia  
Foto: GSM

Última revisión: 23 de Julio de 2003

## CONTENIDO.

[Introducción.](#)

[Factores que influyen en la formación de los caudales.](#)

[Crecientes.](#)

[Obras de drenaje.](#)

[Bibliografía.](#)

## INTRODUCCION.

Para diseñar los elementos de una red de drenaje es necesario conocer el origen y la magnitud de los caudales máximos que pueden llegar a la red.

En este artículo se tratará del drenaje superficial exclusivamente. Se hará una descripción de los factores que generan los caudales, y se presentarán procedimientos de cálculo para la determinación de caudales de creciente. Posteriormente, se hará un análisis sobre las obras de drenaje y se darán recomendaciones para su diseño.

## FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FORMACION DE LOS CAUDALES.

Son básicamente dos , factores de la lluvia y factores de la cuenca.

### 1.- Factores de la lluvia.

Los factores de la lluvia son cuatro:

Duración,  
Intensidad,  
Frecuencia,  
Patrón.



La **Duración ( t )** es el período de análisis. Las lluvias de corta duración, conocidas también como tormentas, son eventos que por lo general tienen duraciones entre 5 minutos y 24 horas, y se utilizan para el cálculo de crecientes.

La **Intensidad ( i )** se define como el volumen de precipitación por unidad de tiempo. Se expresa en milímetros por hora (mm/h)

La **Frecuencia ( f )** es una medida de la probabilidad de ocurrencia de eventos mayores o iguales que el que se analiza. Generalmente se relaciona con el período de retorno (  $Tr$  ). Por ejemplo, el aguacero que tiene una frecuencia del uno por mil tiene una probabilidad de ser igualado o excedido una vez cada mil años en promedio. Para este aguacero el período de retorno es de mil años.

La **Variación temporal**, o patrón, está representada por el hietograma de la lluvia. La duración del aguacero se divide en "n" intervalos iguales, y a cada intervalo le corresponde una parte de la precipitación total.

La **Morfometría** se refiere a las características físicas de la cuenca vertiente. Las principales son el Area, la Longitud del cáuce principal, la Forma, la Pendiente del cáuce, y la Pendiente de la ladera.

## 2.- Factores de la cuenca.

Morfometría,  
Uso del suelo,  
Almacenamiento.

Valle de Laboyos.  
Pitalito. Huila. Colombia  
Foto: G. Silva M.



El **Suelo y su uso** tienen importancia en lo que hace relación con la capacidad de infiltración y con los estimativos de evapotranspiración.

La Capacidad de regulación por **almacenamiento** tiene que ver con los tipos de almacenamiento que predominan en la cuenca; por ejemplo, concentrados en embalses, o repartidos en las corrientes de drenaje o en los depósitos subterráneos.

---

## CAUDALES MAXIMOS

En cada caso particular se selecciona el método más apropiado para determinar los caudales máximos instantáneos, de acuerdo con la importancia del proyecto y con la calidad de la información disponible.

---

## OBRAS DE DRENAJE.

El objetivo de las obras de drenaje es el de conducir las aguas de escorrentía, o de flujo superficial, rápida y controladamente hasta su disposición final.

En su diseño existen tres componentes básicas:

1. **Entrada a la red de drenaje,**
2. **Conducción,**
3. **Entrega al dispositivo final.**

Las condiciones de diseño de estas componentes dependen de las características propias de cada sistema de drenaje.

## 1. **Entrada a la red de drenaje.**

### **Canales interceptores.**

Los canales interceptores reciben agua por una sola de sus orillas o márgenes. El caso más común es el de una ladera que vierte sus aguas de escorrentía sobre un área plana adyacente: el canal interceptor, trazado a lo largo de la divisoria entre la vertiente inclinada y la zona plana, recibe las aguas de escorrentía y conserva el área plana libre de estos caudales. Para el diseño del canal interceptor el caudal se incrementa a lo largo del recorrido, de manera que las dimensiones del canal aumentan en la dirección hacia aguas abajo.

### **Canales recolectores.**

Los canales recolectores reciben agua por sus dos márgenes; pueden ser corrientes naturales o canales artificiales. Los caudales de diseño y las capacidades de los canales se incrementan a lo largo del recorrido.

### **Cunetas, sumideros y alcantarillas.**

Las cunetas son canales pequeños que se utilizan en combinación con los sumideros y las alcantarillas en los sistemas de drenaje de vías, aeropuertos, calles y patios. La localización de los sumideros limita las magnitudes de los caudales en las cunetas. Las alcantarillas son conductos cerrados, parcialmente llenos, que reciben los caudales de los sumideros en forma puntual a lo largo de su recorrido hasta el sitio de entrega del sistema de alcantarillado.

### **Estaciones de bombeo.**

En casos especiales se utilizan equipos de bombeo para drenar áreas bajas; las aguas bombeadas se entregan luego a un sistema principal de drenaje en forma puntual.

## 2. **Conducción de las aguas de drenaje.**

Con pocas excepciones las aguas de drenaje se transportan por corrientes naturales o por canales, que son conductos a superficie libre, abiertos o cerrados.

### **Corrientes naturales.**

En las corrientes naturales se determina el nivel máximo de flujo para la creciente de diseño, y se compara con el nivel a cáuce lleno. Cuando este último resulta inferior que el de la creciente se presentan desbordamientos, los cuales afectarán una zona inundable adyacente cuya amplitud debe determinarse. Para este objetivo se utilizan procedimientos de hidráulica de canales naturales, con caudales variables y curvas de remanso.

La capacidad del cáuce puede ampliarse mediante la ejecución de dragados. Para garantizar la estabilidad de las secciones de flujo se diseñan obras de encauzamiento y de protección de márgenes. En cada diseño particular se deben tenerse en cuenta tanto la magnitud de la carga de sedimentos que transporta la corriente natural como los efectos que las obras pueden causar aguas arriba y abajo de su localización.

### **Canales.**

El diseño de canales para conducción de aguas de drenaje debe aprovechar al máximo la topografía del terreno con el fin de garantizar la conducción por gravedad, con un costo mínimo.

Cuando la diferencia de cotas entre los puntos inicial y final del canal es muy pequeña el diseño resulta en estructuras muy grandes con velocidades bajas y peligro de sedimentación.

De otro lado, diferencias muy grandes de nivel ocasionan el trazado de canales de gran pendiente, o requieren del diseño de estructuras de caída entre tramos de baja pendiente.

Además, dependiendo de la topografía, del tipo de suelo y de las velocidades de flujo, los canales pueden ser excavados o revestidos.

### Canales excavados.

El diseño de los canales excavados está limitado por las velocidades de flujo, la carga de sedimentos y las filtraciones hacia terrenos adyacentes a través del fondo y las orillas. En terrenos erosionables los canales excavados terminan siendo similares a las corrientes naturales al cabo del tiempo, porque pierden su geometría inicial por causa de los procesos de agradación, socavación y ataque contra las márgenes.

### Canales revestidos.

Los canales revestidos permiten velocidades altas, disminuyen las filtraciones y requieren de secciones transversales más reducidas que los anteriores. Sin embargo, su costo y su duración dependen de la calidad del revestimiento y del manejo adecuado que se de a las aguas subsuperficiales. Los materiales de revestimiento pueden ser arcilla, suelo-cemento, ladrillo, losas de concreto simple o reforzado, piedra pegada, etc.

### Dimensionamiento de los canales.

El dimensionamiento de los canales se hace mediante la aplicación de fórmulas convencionales de flujo a superficie libre, teniendo en cuenta los aumentos de caudal en la dirección aguas abajo, las pendientes de los tramos y los remansos que se generan con los cambios de pendiente y con la localización de estructuras de caída, o de cruce con obras civiles, por ejemplo con vías o con otros canales.

Para la relación entre caudal y nivel en secciones dadas del canal se utiliza la ecuación de Manning, en la forma:

$$Q = A R^{2/3} S^{1/2} / n$$

En la ecuación de Manning:

Q es el caudal, en m<sup>3</sup>/s.

A es el área de flujo, en m<sup>2</sup>.

R representa el Radio Hidráulico, m.

S es la pendiente hidráulica del canal, m/m

n es el coeficiente de rugosidad.

n depende del revestimiento y del alineamiento del canal.



Las curvas de remanso que se generan por transiciones, cambios de pendiente o localización de estructuras, se calculan por medio del método directo de pasos, que es el más sencillo del flujo gradualmente variado.

### Estructuras de caída.

Cuando las condiciones topográficas de la línea de trazado del canal no permiten el trazado de un canal de pendiente constante deberá trabajarse por tramos, los cuales empalman con el siguiente al mismo nivel o por medio de una caída.

Las estructuras de caída pueden ser rampas, escalones sencillos o gradas.

Las rampas son tramos de pendiente fuerte de corta longitud. Deben ser suficientemente fuertes para soportar velocidades altas y generalmente se prolongan hacia aguas arriba y abajo con obras de protección contra la socavación. Su capacidad para disipar energía hidráulica es muy baja.

Los escalones sencillos son caídas verticales que se colocan en el extremo inferior de canales de flujo subcrítico. El agua pasa por el escalón en caída libre hasta una placa de fondo que debe proteger la estructura contra la acción erosiva del chorro. Esta placa opera adicionalmente como disipador de energía. Dependiendo de la magnitud de la velocidad de caída, la estructura puede ser de concreto o de piedra pegada, y en algunos casos de gaviones.

Una serie de escalones consecutivos constituye un sistema en gradas. Las dimensiones horizontales y verticales de las gradas deben seleccionarse de tal manera que estas puedan cimentarse dentro del terreno natural; además, el sistema debe permitir un flujo de agua controlado, con importante disipación de energía.

### 3. Estructuras de entrega.

Los canales de conducción de un sistema de drenaje pueden descargar en otros conductos mayores, en corrientes naturales o en almacenamientos concentrados.

El diseño de las obras de entrega debe tener en cuenta la magnitud de las fluctuaciones de nivel en los sitios de descarga y la estabilidad del área adyacente a la misma. Si se trata de descarga a ríos, por ejemplo, la margen que recibe el caudal de drenaje deberá tener una protección en gaviones o piedra pegada que evite su deterioro. A su vez, si la parte final de la conducción queda localizada en una zona inundable, deberán tomarse las medidas del caso para asegurar la estabilidad de las estructuras de drenaje, y su óptimo funcionamiento hidráulico.

En general, una obra de entrega debe tratarse como un disipador de energía que garantiza la llegada controlada del agua a su destino final, y la estabilidad de las obras de drenaje.

Las obras de entrega más comunes están comprendidas dentro de las siguientes:

1. **Transiciones de salida, con aletas divergentes.**
2. **Disipadores de tanque.**
3. **Escalones.**
4. **Pozos o estanques.**
5. **Conductos cerrados hasta el fondo del colector final.**

---

**ELEMENTOS Y ESTRUCTURAS  
DE DRENAJE  
BIBLIOGRAFIA**



1. Chow, Ven Te. **OPEN-CHANNEL HYDRAULICS**. Mc Graw - Hill. 1959.
  2. Dolz,J; Gómez,M (Editores). **INUNDACIONES Y REDES DE DRENAJE URBANO**. Colegio de Ingenieros, Canales y Puertos. Monografías. No. 10. Actas del III curso de Avenidas. Universidad Politécnica de Cataluña. 1992.
  3. Dake, J.M. **ESSENTIALS OF ENGINEERING HYDRAULICS**. Mcmillan. 2nd. Edition. 1983.
  4. Ghosh, S.N. **FLOOD CONTROL AND DRAINAGE ENGINEERING**. Oxford Publishing Co. 1986.
  5. Linsley; Franzini. **WATER-RESOURCES ENGINEERING**. McGraw - Hill. 4th Edition. 1992.
  6. McGhee, T. **ABASTECIMIENTO DE AGUA Y ALCANTARILLADO**. Sexta Edición. McGraw-Hill. 1999.
  7. Secretaría de Obras Públicas de Antioquia. **OBRAS DE DRENAJE Y PROTECCION PARA CARRETERAS**.1985.
  8. Silva, L. F. **DISEÑO BASICO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS**. 10a. Edición. Bogotá. 1989.
  9. Silva, G. **HIDROLOGIA BASICA**. Facultad de Ingeniería Universidad Nacional. Bogotá. 1998.
  10. Silva, G. **HIDROLOGIA EN CUENCAS PEQUEÑAS CON INFORMACION ESCASA**. Revista No. 16. Ingeniería e Investigación. Facultad de Ingeniería Universidad Nacional. Bogotá. 1988.
  11. Soil Conservation Service. **HYDROLOGY**. National Engineering Handbook. Section 4. 1972.
  12. Soil Conservation Service. **DRAINAGE**. National Engineering Handbook. Section 16. 1972.
  13. Suárez, D, J. **MANUAL DE INGENIERIA PARA EL CONTROL DE EROSION**. CDMB-UIS. Bucaramanga. 1992.
  14. Torres, H, F. **OBRAS HIDRAULICAS**. Editorial Limusa S. A. Méjico. 1981.
  15. U.S. Department of the Interior. **DISEÑO DE PRESAS PEQUEÑAS**. Bureau of Reclamation. C.E.C.S.A. 1979.
  16. U.S. Department of the Interior. **DRAINAGE MANUAL**. Bureau of Reclamation. Oxford Publishing C. 1978.
  17. U.S. Department of the Interior. **SMALL CANAL STRUCTURES**. Bureau of Reclamation. 1985.
- 

[Hidrología General](#)

[Hidráulica General](#)

[Hidráulica Fluvial](#)

# CRECIENTES

GUSTAVO A. SILVA MEDINA  
BOGOTÁ. COLOMBIA

Río Ariari  
Granada. Departamento del Meta.  
Colombia.  
Foto: GSM



---

Última revisión: 23 de Julio de 2003

---

## CRECIENTES.

- [Generalidades.](#)
- [Métodos de cálculo](#)

### Generalidades

Las crecientes son eventos extraordinarios que se presentan en los cauces de las corrientes naturales durante las cuales las magnitudes de los caudales superan con creces los valores medios que son normales en dichas corrientes.

La predicción de la magnitud de la creciete para el diseño de obras hidráulicas ha sido siempre motivo de controversia debido a que los métodos que analizan crecientes deben realizar una proyección hacia el futuro, aplicando teoría de probabilidades, con un alto grado de incertidumbre.



Río Upia.  
Villanueva. Casanare.  
Colombia.

Caño Guataca  
Mompox. Bolivar.  
Colombia

Fotos: GSM



Si se conocen con un nivel de aproximación razonable las magnitudes de las crecientes que se van a presentar durante la vida útil de una obra es claro que las estructuras se pueden diseñar con una gran confianza en cuanto a los aspectos técnicos y económicos. En efecto, la estabilidad de la obra durante la vida útil de diseño depende en gran parte de su capacidad para soportar los efectos que se producen sobre la estructura cuando pasan las crecientes extraordinarias. Estos efectos se traducen en impactos, presiones, socavación, taponamientos y desbordamientos.

Los pilares en los cuales descansa el cálculo de las crecientes futuras probables para el diseño de obras hidráulicas son tres:

1. El riesgo de falla en la capacidad hidráulica o en la estructura de la obra.
2. El régimen de aguaceros en la cuenca que alimenta la corriente natural que llega a la obra.
3. Las características físicas, de almacenamiento, estabilidad, erosión, infiltración y uso de la tierra de la cuenca ya definida.

## Métodos de cálculo

Mucho se ha escrito en la bibliografía especializada sobre el cálculo de las crecientes de diseño. Los métodos que se recomiendan varían entre la aplicación de conceptos de estadística y probabilidad a registros históricos de caudales máximos y el uso de fórmulas que relacionan algunas características de la hoya vertiente con las lluvias de corta duración o aguaceros.

En el presente artículo se analizarán solamente dos métodos, advirtiendo que existen otros más sofisticados, aunque no son necesariamente mejores.

### 1. Análisis de registros históricos de caudales máximos.

Como se explica en los libros de Hidrología la serie histórica de caudales máximos de una estación hidrométrica se conforma con los picos de los hidrogramas si la estación está equipada con limnógrafo o con los registros de máxímetros si la estación está compuesta por una batería de miras.

Para asegurar la independencia de los datos de la serie se recomienda tomar un solo valor por cada año de registro, el máximo.

El análisis estadístico de la serie de máximos históricos permite establecer la confiabilidad de la serie en cuanto tiene que ver con la longitud del registro y la consistencia de la información. Luego de que se establece la confiabilidad de la serie se procede a calcular los estadísticos que van a representar el régimen histórico de las crecientes; estos estadísticos son **Promedio (X)**, **Desviación Estándar (SD)** y **Coeficiente de Asimetría (Ca)**.

Posteriormente, utilizando métodos de Inferencia Estadística, se calculan los parámetros de la población para aplicarlos en el pronóstico de probabilidad de las crecientes futuras; estos parámetros son **Esperanza Matemática ( $\mu$ )**, **Varianza (var)** y **Coeficiente de Asimetría (Cs)**.

Por último, se selecciona una distribución de probabilidades y se calculan los picos de creciente para **Períodos de Retorno (Tr)** determinados. Como se sabe, el período de retorno es una medida de la probabilidad de que un evento de una determinada magnitud sea igualado o excedido por lo menos una vez en un año cualquiera. Así, la creciente de **100 años** es la creciente que tiene **probabilidad p(x)** del **uno por ciento** de presentarse o ser superada por lo menos una vez en un año cualquiera.

La magnitud de la creciente de período de retorno Tr se calcula con la expresión:

$$Q_t = \mu + k s$$

donde  $Q_t$  es el caudal pico de período de retorno Tr,  $\mu$  es la esperanza matemática de la serie,  $s$  la raíz cuadrada de la varianza;  $k$  es el nivel de probabilidad o sea el factor de frecuencia de la distribución de probabilidades seleccionada, en función del período de retorno Tr.

El método tiene el inconveniente de que analiza con un gran rigor matemático la teoría de las probabilidades pero no tiene en cuenta los factores físicos de la corriente de drenaje y de su cuenca vertiente.

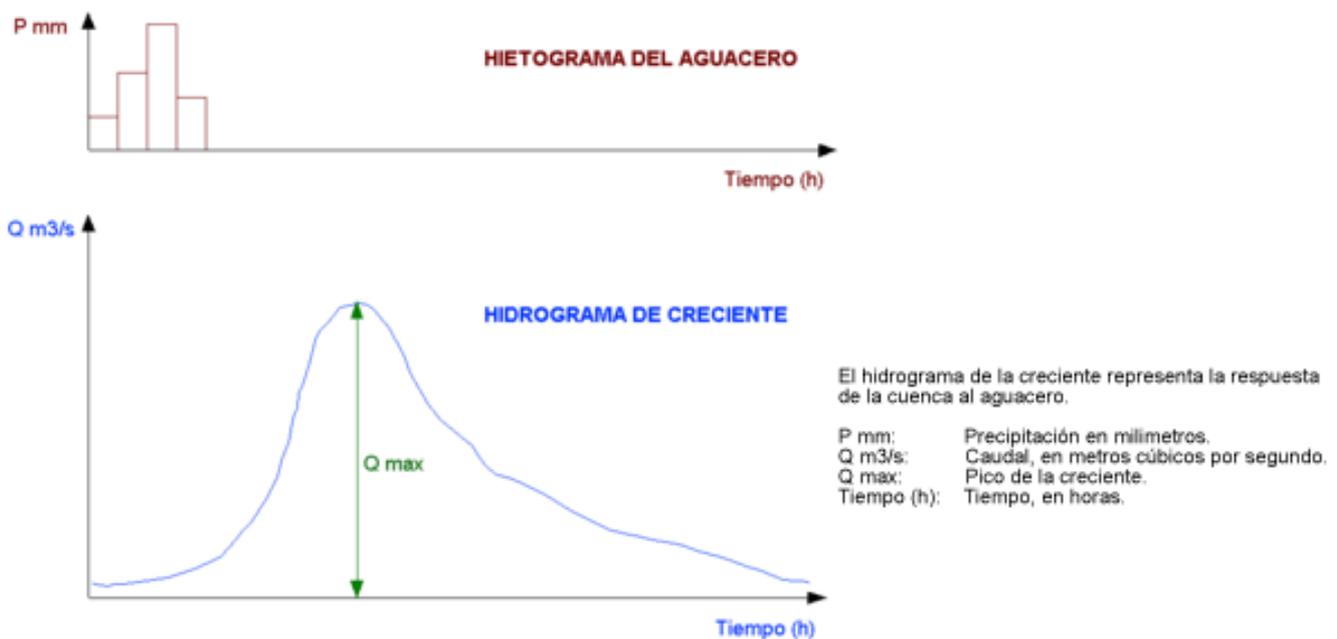
Este método es útil en el cálculo de picos de creciente para diseño de sistemas de drenaje urbano, sistemas de drenaje de carreteras y aeropuertos, puentes, y protección de obras hidráulicas pequeñas en ríos, como captaciones, desarenadores y conducciones. No es recomendable para el diseño de aliviaderos en presas de embalse; en este caso es preferible utilizar métodos de cálculo basados en las relaciones que existen entre la lluvia máxima probable, la cuenca y el caudal máximo probable.

### 2. Relaciones entre Cuenca, Lluvia y Caudal.

El análisis cuidadoso de la relación que existe entre las características físicas de la cuenca, los factores de la lluvia y los hidrogramas de creciente ofrece al Ingeniero un panorama amplio de conocimiento sobre la formación de los caudales extraordinarios y le permite hacer un pronóstico relativamente confiable sobre los eventos futuros de esta naturaleza.

El término pronóstico relativamente confiable se utiliza aquí para expresar que, aun cuando existe la incertidumbre propia de todo pronóstico, los resultados que se obtienen en el análisis tienen órdenes de magnitud adecuados a las necesidades de los diseños. Debe recordarse que siempre que se hace un pronóstico existe la posibilidad de fallar. Lo que se busca en los estudios hidrológicos es lograr que la probabilidad de falla sea pequeña.

El primer paso en el análisis consiste en la recolección de información cartográfica, pluviográfica y limnigráfica para delimitar la cuenca vertiente, determinar sus características morfométricas, geotécnicas y de uso del suelo, y seleccionar hidrogramas históricos de creciente junto con sus respectivos aguaceros.



El procedimiento continúa con el cálculo de hidrogramas unitarios o con la programación de modelos matemáticos de escorrentía que se calibran con la información histórica existente.

Por último se hace una síntesis probabilística de los aguaceros de corta duración y se establecen las curvas de **Intensidad-duración-frecuencia**. Las curvas se aplican luego al hidrograma unitario o al modelo matemático para obtener pronósticos de los hidrogramas de creciente futuros.

## 2.1. Cuenas pequeñas.

En Hidrología una cuenca pequeña no se define solamente por su tamaño. Es más importante en su definición el concepto de Cuenca Homogénea.

Una Cuenca es Homogénea cuando tiene las mismas características físicas y de almacenamiento en toda su área. Por ejemplo, si una cuenca en una zona montañosa tiene una pendiente relativamente uniforme en las laderas que vierten a la corriente de drenaje y además el cauce de la corriente tiene una pendiente longitudinal constante, y el uso del suelo es similar sobre toda el área, la cuenca puede considerarse como homogénea.

En general, las cuencas homogéneas tienen limitaciones de tamaño y es difícil encontrar cuencas montañosas homogéneas mayores de 25 km<sup>2</sup>, y cuencas de llanura homogéneas mayores de 100 km<sup>2</sup>.

Por esta razón es conveniente definir en Hidrología una **cuenca pequeña** como aquella que tiene las características de una **cuenca homogénea**.

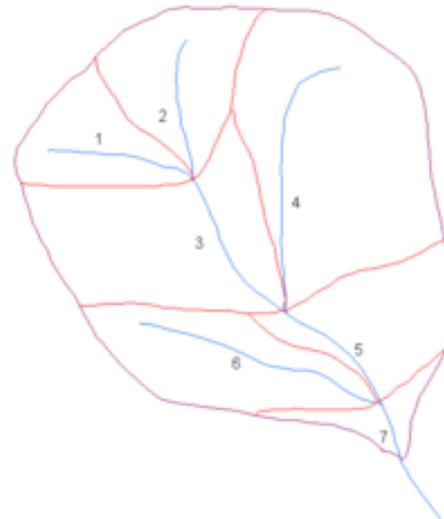
En una cuenca pequeña el **cálculo de las crecientes** es sencillo porque basta un solo hidrograma unitario o un modelo matemático univariado para definir la relación lluvia-cuenca-caudal.

## 2.2. Cuencas grandes.

Cuando una cuenca no es homogénea se considera como una cuenca grande. El procedimiento en este caso consiste en dividir la cuenca grande o principal en varias subcuencas homogéneas, hacer un análisis de crecientes en cada subcuenca homogénea y luego transitar los resultados a lo largo de la corriente principal.

La cuenca de la Figura se dividió en 7 subcuencas, de acuerdo con la distribución de sus principales tributarios.

Cada subcuenca se trata como una subcuenca homogénea.



EJEMPLO DE DIVISION DE UNA CUENCA EN SUBCUENCAS PARA ESTUDIO DE CRECIENTES.

Con este procedimiento se determinan tantos hidrogramas unitarios como subcuencas homogéneas se hayan definido, o se formula un modelo matemático multivariado.

De acuerdo con la calidad de la información disponible el tránsito de las crecientes a lo largo de la corriente principal puede realizarse por métodos hidrológicos o hidráulicos.

Entre los métodos hidrológicos conocidos están el método Muskingum y el de Superposición y Traslado de Hidrogramas. Los métodos hidráulicos están basados en la Teoría del flujo no permanente en canales.

Los métodos más conocidos para cálculo de crecientes son los siguientes:

- **Análisis de frecuencias de caudales máximos registrados.**

La aplicación del método requiere de una buena serie histórica diaria de caudales máximos instantáneos.

El análisis de frecuencias de caudales máximos se utiliza en diseños de puentes pequeños, pontones, box-culverts y alcantarillas. El procedimiento de cálculo tiene los siguientes pasos:

1. Conformación de una serie histórica de caudales máximos instantáneos,
2. Análisis estadístico de la serie y determinación del promedio, desviación estándar y coeficiente de asimetría,
3. Estimativo de Esperanza matemática, varianza y asimetría para estudios de probabilidad,
4. Selección de una distribución de probabilidades,
5. Determinación de los caudales de crecienta para varios niveles de probabilidad, o frecuencias.



Q. El Zancudo. La Vega. Colombia  
Foto: G. Silva M.

- **Aplicación de Relaciones lluvia-Cuenca-caudal.**

Los métodos que se basan en la interrelación lluvia-cuenca-caudal se pueden aplicar en todos los casos. Para su correcta utilización se necesita suficiente información cartográfica, hidrometeorológica, geológica y geográfica de la región donde se localiza la cuenca en estudio.

Para determinar las **características de la cuenca vertiente** el primer paso consiste en localizar el sitio de interés del estudio en la corriente seleccionada ; luego se delimita su área sobre la mejor cartografía disponible y se miden Area, Longitud de la corriente, Pendiente del cáuce y Pendiente del terreno. Además, se estudian las condiciones del suelo y los cultivos para estimar las condiciones de infiltración.

**El aguacero de diseño** es el evento que genera la crecienta. Su valor es un estimativo basado en estudios de probabilidad y está definido por Frecuencia, Duración, Intensidad y Patrón temporal.

La Frecuencia es una medida de la probabilidad de que el aguacero de diseño sea igualado o excedido por lo menos una vez en un año cualquiera. Así, el aguacero de 100 años tiene una probabilidad del 1% de ser igualado o excedido por lo menos una vez cada año.

La Duración se refiere al tiempo que dura el aguacero de diseño. En cuencas pequeñas este tiempo es aproximadamente igual al Tiempo de Concentración de la cuenca.

La Intensidad media es la relación que existe entre el total de precipitación del aguacero de diseño y la duración del mismo. Si la duración se divide en intervalos, cada intervalo tiene una intensidad propia. Ver Figura No. 3.

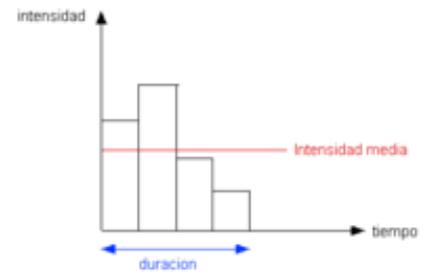
El patrón temporal es el hietograma del aguacero de diseño. En cuencas pequeñas se acepta que la intensidad es constante a lo largo del aguacero.

FIGURA No.3  
PATRONES TEMPORALES  
DE LLUVIAS TÍPICAS

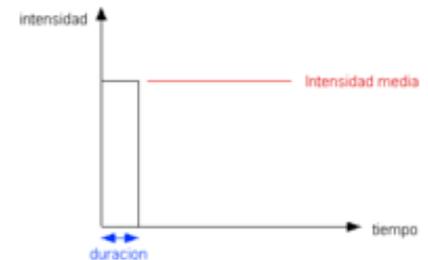
La duración del aguacero se divide en "n" intervalos iguales. A cada intervalo le corresponde una parte de la precipitación y una intensidad particular.

La intensidad media es igual a la Precipitación Total dividida por la duración.

Cuencas grandes.  
Duración > 30 minutos.



Cuencas pequeñas.  
Duración < 30 minutos.



La determinación numérica de la Intensidad se realiza utilizando curvas regionales de [Intensidad-Duración-Frecuencia](#), o curvas IDF. Para este efecto se fijan la Frecuencia y la Duración del aguacero, y se aplica la curva IDF correspondiente.

Entre los métodos que utilizan relaciones lluvia-cuenca-caudal están los siguientes:

- **Determinación y aplicación de Fórmulas empíricas regionales.**

Son fórmulas que permiten calcular los caudales de creciente en función de algunas de las características físicas e hidrometeorológicas de cuencas que tienen buena información y pertenecen a una región determinada. Mediante procedimientos de Regionalización pueden utilizarse en cuencas no instrumentadas de la misma región.

- **Método racional**

El Método Racional se aplica en cuencas homogéneas pequeñas, menores de 10 hectáreas, principalmente para drenajes de carreteras, patios, áreas rurales, etc.

Se representa con la siguiente expresión:

$$Q = C i A$$

donde "Q" es el **caudal pico de la escorrentía** que se genera a la salida de una cuenca de área "A" por efecto de un aguacero de intensidad constante "i", que tiene una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca. "C" es el coeficiente de escorrentía; su valor está comprendido entre cero y uno, y depende de la morfometría de la cuenca y de su cobertura.

La fórmula es dimensional, de manera que las unidades deben utilizarse correctamente. Cuando el caudal se dá en m<sup>3</sup>/s, la intensidad en mm/h y el área en km<sup>2</sup>, la expresión queda de la siguiente forma:

$$Q = C i A / 3.6$$

Las principales dificultades que se encuentran para el uso correcto de la fórmula son dos: La asignación de valores apropiados al coeficiente de escorrentía y la determinación de la intensidad del aguacero.

La selección del coeficiente de escorrentía es subjetiva porque, aun cuando existen tablas y recomendaciones generales, el criterio de ingeniero es definitivo. Por su parte, la intensidad del aguacero se deduce de análisis de intensidad, duración y frecuencia.

La aplicación del Método Racional induce a sobreestimar los caudales de creciente. Por esta razón no se recomienda su uso en cuencas mayores de 1 km<sup>2</sup>.

- **Hidrogramas Unitarios.**

Los hidrogramas unitarios, cuando se calculan con buena información, son apropiados para el cálculo de crecientes en obras importantes, como son los aliviaderos de presas de embalse o los puentes grandes.

Un hidrograma unitario es un modelo matemático que representa la respuesta de la cuenca a la acción de una lluvia de exceso unitaria.

La lluvia de exceso es la parte del aguacero que genera escorrentía superficial. Esta lluvia es unitaria cuando representa un volumen unitario de precipitación, por ejemplo 1 mm de lluvia repartida uniformemente sobre el área.

El hidrograma unitario de una cuenca se determina por medio de análisis de lluvias e hidrogramas, o a partir de sus características morfométricas. En este último caso hay estudios realizados por el Soil Conservation Service, SCS, de los Estados Unidos y por investigadores privados como C.O. Clark, F.M. Snyder, Nash y Taylor, entre los más conocidos.

El [Hidrograma Unitario Triangular](#) del SCS ofrece un procedimiento sencillo para el cálculo de crecientes en cuencas pequeñas.

Los siguientes son los pasos que se siguen en la aplicación del método del hidrograma unitario:

1. **Síntesis de una lluvia de diseño, a partir de un análisis de intensidad-duración-frecuencia de aguaceros de corta duración.**
2. **Determinación de un índice de infiltración característico de la cuenca.**
3. **Cálculo de la lluvia de exceso a partir de la lluvia total de diseño y de la infiltración esperada.**
4. **Determinación del hidrograma unitario de la cuenca.**
5. **Aplicación de la lluvia de exceso al hidrograma unitario.**
6. **Interpretación de los resultados para estimar el caudal pico de creciente.**

El método está limitado a cuencas homogéneas.

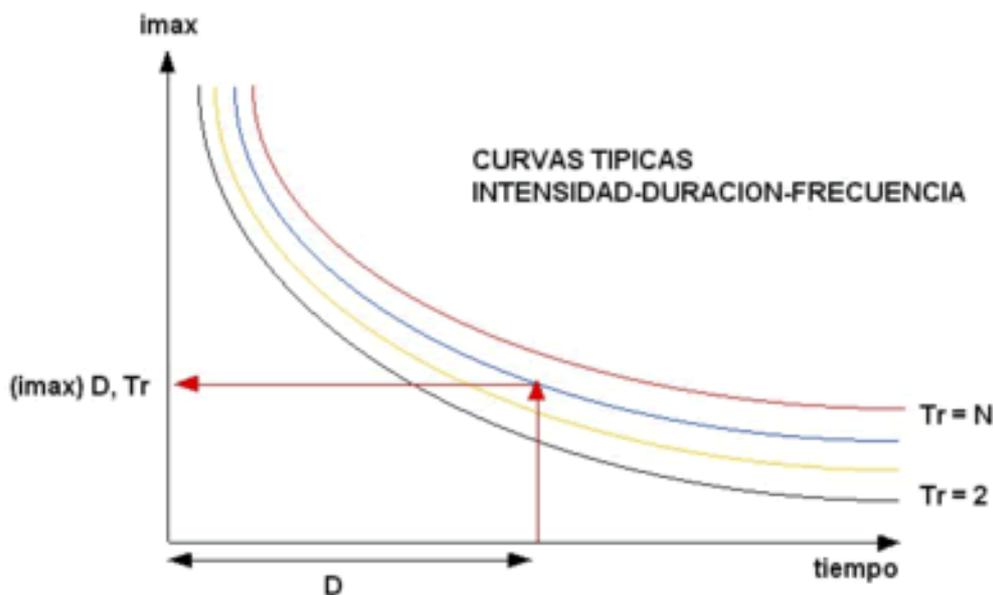
La determinación numérica de la Intensidad se realiza utilizando curvas regionales de Intensidad-Duración-Frecuencia, o curvas IDF. Para este efecto se fijan la Frecuencia según el nivel de probabilidad de falla admitido, y la Duración del aguacero, y se aplica la curva IDF.

Cuando la cuenca está bien instrumentada las curvas IDF se obtienen de análisis de frecuencias de lluvias máximas registradas, pero en cuencas con información escasa es necesario aplicar métodos empíricos con base en registros de lluvias máximas diarias, que se obtienen de estudios regionales o mediante transposición de lluvias de cuencas de características similares.

En general, las curvas IDF se ajustan a ecuaciones que tienen la siguiente expresión:

$$i = Cr / (t + b)^n$$

donde Cr es un coeficiente que depende de la Frecuencia del evento, b y n son parámetros propios de la cuenca que se está analizando; i es la intensidad del aguacero; t es la duración del mismo. La ecuación es aceptable para Duraciones menores de 2 horas y Frecuencias menores de una vez en 100 años.



APLICACION:

Entrando con D y Tr se determina la intensidad máxima para esas condiciones.

C.F. Bell ha desarrollado un procedimiento que es útil para determinar los coeficientes Cr, b y el exponente n a partir de análisis de lluvias máximas diarias en regiones con información escasa.

Laguna de oxidación  
Alcantarillado sanitario  
Maicao - Guajira  
Colombia

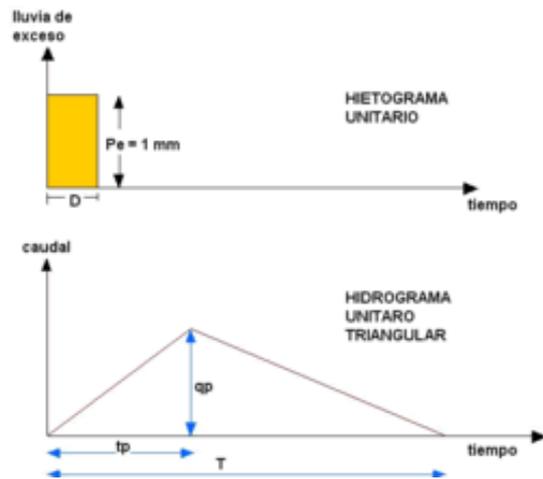
Foto:GSM



Arco natural en roca  
El Morro - Tumaco  
Colombia

Foto: GSM

## Figuras y definición de variables



**D** = duración de la lluvia de exceso, horas  
**tc** = tiempo de concentración, horas  
**tp** = tiempo hasta el pico, horas  
**T** = duración de la escorrentía, horas.

**A** = Area de la cuenca, km<sup>2</sup>  
**L** = Longitud del cauce, km  
**S** = Pendiente del cauce, m/m

**qp** = caudal pico unitario para 1 mm de lluvia de exceso, m<sup>3</sup>/s

**Tr** = período de retorno de la creciente que se va a calcular, años

**imx** = intensidad máxima, mm/h, del aguacero de duración D y período de retorno Tr.

El más sencillo de los hidrogramas unitarios es el **hidrograma unitario triangular**, desarrollado por el **Soil Conservation Service** del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Se aplica a cuencas pequeñas y homogéneas y produce resultados aceptables en el cálculo de caudales de creciente generados por escorrentía. La lluvia unitaria que se aplica al hidrograma es 1 mm de **lluvia de exceso**.

Las componentes del hidrograma unitario triangular se deducen de las características morfométricas de la cuenca y se expresan por medio de las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} t_p &= D/2 + 0.6 t_c \\ T &= 8/3 t_p \\ q_p &= A / ( 1.8 T ) \end{aligned}$$

## 2. Cálculo del pico de creciente

Una vez que se han definido las características morfométricas de la cuenca vertiente y se ha realizado el análisis de los aguaceros históricos, aplicando la curva de intensidad-duración-frecuencia, se obtiene la siguiente información:

A, tc Características morfométricas  
 D, Tr, imx Del análisis de aguaceros.

La duración de la lluvia es aquella que produce el máximo valor de qp y se determina por medio de aproximaciones sucesivas. Inicialmente se hace D = tc y luego se prueba con valores mayores y menores que el inicial hasta encontrar el máximo qp.

Se calcula la lluvia total del aguacero, P en mm:

$$P = D \cdot imx$$

La lluvia de exceso, Pe, es una parte de P y se determina realizando análisis de índices de infiltración y de pérdidas, o aplicando la metodología del Soil Conservation Service que se basa en las características de los suelos y en el índice CN.

Por último el caudal pico de creciente de escorrentía, Qp, con frecuencia Tr resulta:

$$Q_p = P_e \cdot q_p$$

## 3. Ejemplo

En el sitio de captación para un acueducto la corriente natural que se seleccionó como fuente de abastecimiento drena un área de 5 km<sup>2</sup>, su cauce tiene una longitud de 3 km y una pendiente aproximadamente constante del 4 %. La cuenca se considera homogénea porque tanto el uso del suelo como la morfología del terreno son más o menos uniformes.

Dentro de la cuenca no hay estaciones hidrológicas, pero hay un estudio general de la región que se basa en el análisis de estaciones vecinas. De acuerdo con las curvas de intensidad-duración-frecuencia del estudio regional se han definido las intensidades máximas para diferentes duraciones y períodos de retorno. En este caso particular se estima que la lluvia de exceso es del orden del 25 % de la lluvia total de un agacero típico.

Se pregunta en cuánto puede estimarse el caudal pico de creciente con período de retorno de 25 años

#### Datos:

A	5 km <sup>2</sup>
L	3 km
S	0.04 m/m
Tr	25 años

#### Cálculos:

Por tratarse de una cuenca pequeña, donde se espera que  $t_c$  sea menor de 1 hora puede utilizarse la fórmula de Kirpich para el cálculo del tiempo de concentración.

$$t_c = .067 (L / S^{0.5})^{0.77} \quad 0.54 \text{ horas}$$

$$D = t_c \text{ (aproximadamente) } \quad 0.54 \text{ horas}$$

$$t_p \quad 0.59$$

horas

$$T \quad 1.57$$

horas

$$\mathbf{q_p} \quad \mathbf{1.77}$$

**m<sup>3</sup>/s/mm**

$$i_{mX} \text{ (dato del estudio regional para } D, Tr) \quad 45 \text{ mm/h}$$

$$P \quad 22.5 \text{ mm}$$

$$P_e \quad 5.6 \text{ mm}$$

$$\mathbf{Q_p} \quad \mathbf{10.2 \text{ m}^3/\text{s}}$$

#### RESULTADO:

**El caudal pico de creciente es del orden de 10 m<sup>3</sup>/s.**