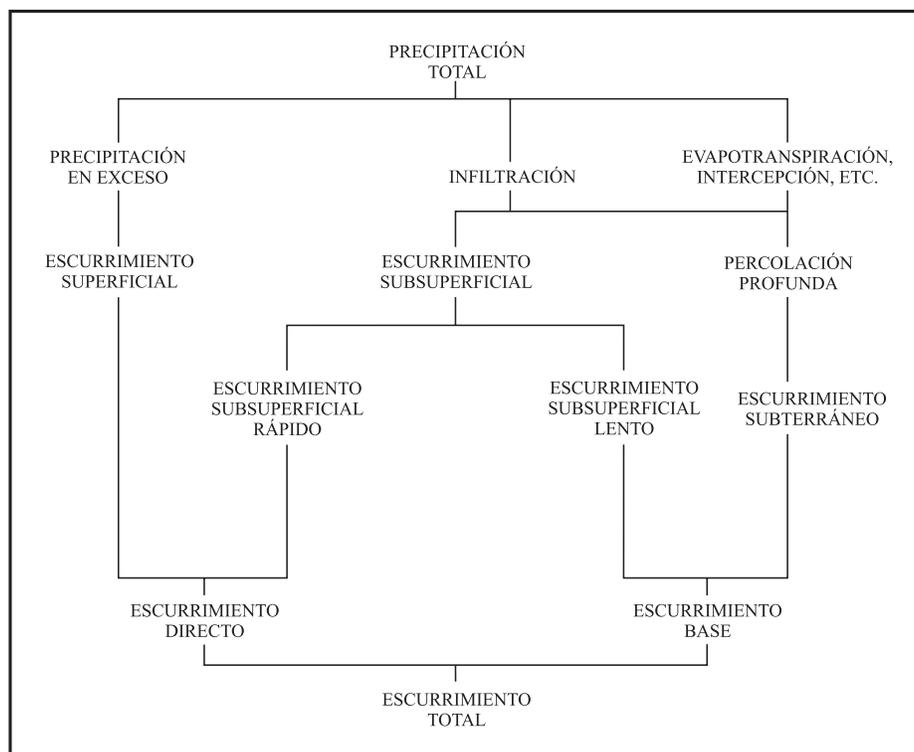


## V. ESCURRIMIENTO

### 1. Concepto (Chow, 1964:14-214-3)

El escurrimiento es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras, y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. Dicho de otra manera, es el deslizamiento virgen del agua, que no ha sido afectado por obras artificiales hechas por el hombre. De acuerdo con las partes de la superficie terrestre en las que se realiza el escurrimiento, éste se puede dividir (ver figura V.1) en:



**Figura V.1. Diagrama del escurrimiento.**

*Escurrimiento superficial o escorrentía.* Es la parte del agua que escurre sobre el suelo y después por los cauces de los ríos.

*Escurrimiento subsuperficial.* Es la parte del agua que se desliza a través de los horizontes superiores del suelo hacia las corrientes. Una parte de este tipo de escurrimiento entra rápidamente a formar parte de las corrientes superficiales y a la otra le toma bastante tiempo el unirse a ellas.

*Escorrimento subterráneo.* Es aquél que, debido a una profunda percolación del agua infiltrada en el suelo, se lleva a cabo en los mantos subterráneos y que, posteriormente, por lo general, descarga a las corrientes fluviales.

A la parte de la precipitación que contribuye directamente al escurrimiento superficial se le llama *precipitación en exceso*.

El escurrimiento subterráneo y la parte retardada del escurrimiento subsuperficial constituyen el *escurrimiento base* de los ríos.

La parte de agua de escurrimiento que entra rápidamente en el cauce de las corrientes es a lo que se llama *escurrimiento directo* y es igual a la suma del escurrimiento subsuperficial más la precipitación que cae directamente en los cauces.

## 2. Ciclo del escurrimiento

William G. Hoyt (1942, chap. XI-D) describe el ciclo del escurrimiento en cinco fases:

### Primera fase

1. Comprende la época seca en la que la precipitación es escasa o nula.
2. La corriente de los ríos es alimentada por los mantos de agua subterránea.
3. La evapotranspiración es bastante intensa, y si esta fase no fuera interrumpida, llegarían a secarse las corrientes.
4. En regiones de clima frío, donde la precipitación es en forma de nieve, si la temperatura permite el deshielo, habrá agua disponible para mantener las corrientes fluviales, interrumpiéndose así la primera fase e iniciándose la segunda.

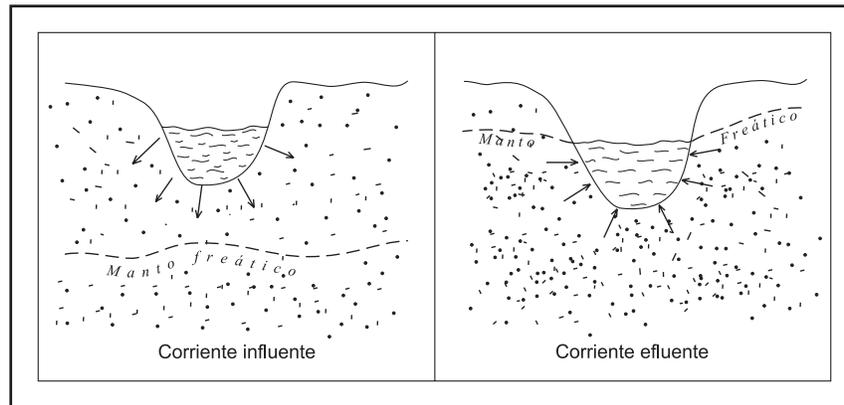
### Segunda fase

1. Caen las primeras precipitaciones cuya misión principal es la de satisfacer la humedad del suelo.
2. Las corrientes superficiales, si no se han secado, siguen siendo alimentadas por el escurrimiento subterráneo.
3. Si se presenta escurrimiento superficial, éste es mínimo.
4. La evapotranspiración se reduce.
5. Cuando existe nieve, ésta absorbe parte de la lluvia caída y su efecto de almacenamiento alargará este segundo período.
6. A través del suelo congelado puede infiltrarse el agua precipitada si su contenido de humedad es bajo.

### Tercera fase

1. Comprende el período húmedo en una etapa más avanzada.
2. El agua de infiltración satura la capa del suelo y pasa, por gravedad, a aumentar las reservas de agua subterránea.
3. Se presenta el escurrimiento superficial, que puede o no llegar a los cauces de las corrientes, lo cual depende de las características del suelo sobre el que el agua se desliza.

4. Si el cauce de las corrientes aún permanece seco, el aumento del manto freático puede ser, en esta fase, suficiente para descargar en los cauces.
5. Si la corriente de agua sufre un aumento considerable, en lugar de que sea alimentada por el almacenamiento subterráneo (corriente efluente), la corriente contribuirá al incremento de dicho almacenamiento (corriente influente; Figura V.2).



**Figura V.2. Tipo de corriente según recargue al manto freático (influyente) o se alimente del manto freático (efluente).**

6. La evapotranspiración es lenta.
7. En caso de que exista nieve y su capacidad para retener la lluvia haya quedado satisfecha, la lluvia caída se convertirá directamente en escurrimiento superficial.
8. Si el suelo permanece congelado, retardará la infiltración, lo que favorecerá al escurrimiento, pero en cuanto se descongele, el escurrimiento superficial disminuirá y aumentará el almacenamiento subterráneo.

#### Cuarta fase

1. Continúa el período húmedo.
2. La lluvia ha satisfecho todo tipo de almacenamiento hidrológico.
3. En algunos casos el escurrimiento subsuperficial llega a las corrientes tan rápido como el escurrimiento superficial.
4. El manto freático aumenta constantemente y puede llegar a alcanzar la superficie del suelo, o bien la velocidad de descarga hacia las corrientes puede llegar a ser igual a la de recarga.
5. Los efectos de la nieve y el hielo son semejantes a los de la tercera fase.

#### Quinta fase

1. El período de lluvia cesa.
2. Las corrientes de agua se abastecen del escurrimiento subsuperficial, del subterráneo y del almacenamiento efectuado por el propio cauce.
3. La evapotranspiración empieza a incrementarse.
4. En caso de existir nieve, cuando la temperatura está bajo 0° C, produce la prolongación de esta fase.
5. Esta fase termina cuando las reservas de agua quedan de tal manera reducidas que se presentan las características de la primera fase.

### 3. Factores que afectan al escurrimiento

Los factores que afectan al escurrimiento se refieren a las características del terreno (cuencas hidrográficas), y se dividen en dos grandes grupos: los climáticos y los relacionados con la fisiografía.

#### 1. Factores climáticos

Son aquéllos que determinan, de la cantidad de agua precipitada, la destinada al escurrimiento.

1. Precipitación. Es el elemento climático de más importancia para el escurrimiento, debido a que depende de ella. Interesan varios aspectos de este elemento para el conocimiento del escurrimiento.

A. *Forma de precipitación.* Si la precipitación es en forma líquida, el escurrimiento se presenta con relativa rapidez; si es en forma sólida no hay ningún efecto, a menos que la temperatura permita la rápida licuefacción.

b) *Intensidad de la precipitación.* Cuando la precipitación es suficiente para exceder la capacidad de infiltración del suelo, se presenta el escurrimiento superficial y cualquier aumento en la intensidad repercute rápidamente en dicho escurrimiento.

c) *Duración de la precipitación.* Entre más dure la precipitación mayor será el escurrimiento, independientemente de su intensidad. Una lluvia prolongada, aun cuando no sea muy intensa, puede causar gran escurrimiento superficial, ya que con la lluvia decrece la capacidad de infiltración.

d) *Distribución de la precipitación en el espacio.* Generalmente la lluvia nunca abarca toda la superficie de la cuenca; para cuencas pequeñas, los mayores escurrimientos superficiales resultan de tormentas que abarcan áreas pequeñas, y para cuencas grandes, resultan de aguaceros poco intensos que cubren una mayor superficie.

e) *Dirección del movimiento de la precipitación.* La dirección del centro de la perturbación atmosférica que causa la precipitación tiene influencia en la lámina y duración del escurrimiento superficial. Si la tormenta se mueve dentro del área de la cuenca, el escurrimiento será mayor que si únicamente la atraviesa. Por otro lado, si el temporal avanza en sentido contrario al drenaje, el escurrimiento será más uniforme y moderado que si se mueve en el sentido de la corriente.

f) *Precipitación antecedente y humedad del suelo.* Cuando el suelo posee un alto contenido de humedad, la capacidad de infiltración es baja y se facilita el escurrimiento.

B. Otras condiciones del clima. Además de la precipitación existen otros elementos que se deben tomar en cuenta, pues aunque indirectamente, también afectan al escurrimiento; entre ellos la temperatura, el viento, la presión y la humedad relativa.

#### 2. Factores fisiográficos

Se relacionan por una parte con la forma y características físicas del terreno y por la otra con los canales que forman el sistema fluvial.

A. Factores morfométricos. Son aquellas particularidades de las formas terrestres que influyen en el agua de la lluvia al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere, por los efectos que produce y por el tiempo que tarda en llegar al punto de desagüe.

a) *Superficie*. La superficie de las cuencas hidrográficas está limitada por la divisoria topográfica o parteaguas que determina el área de la cual se derive el escurrimiento superficial. Las cuencas pequeñas se comportan de manera distinta a las cuencas grandes en lo que se refiere al escurrimiento. No existe una extensión definida para diferenciar a las cuencas pequeñas de las grandes, sin embargo, hay ciertas características que distinguen a unas de otras. Las cuencas pequeñas son más sensibles al uso del suelo y a las precipitaciones de gran intensidad que abarcan zonas de poca extensión. En las cuencas grandes es muy importante el efecto de almacenamiento en los cauces de las corrientes.

b) *Forma*. Interviene principalmente en la manera como se presenta el volumen de agua escurrido a la salida de la cuenca. Generalmente los volúmenes escurridos en cuencas alargadas son más uniformes a lo largo del tiempo, en cambio, en cuencas compactas el agua tarda menos en llegar a la salida, en donde se concentra en un tiempo relativamente corto. Existen índices que expresan la forma de las cuencas hidrográficas, y se obtienen a partir de la superficie y medidas lineales de la cuenca, como el índice de compacidad (K) de *Gravelius*, que relaciona el perímetro de la cuenca (P) con el de la circunferencia de un círculo de igual área a la de la cuenca (A):

$$K = \frac{P}{2\sqrt{(\pi A)}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

El valor mínimo que se puede obtener es 1 y cuanto mayor sea el índice, más alargada será la cuenca.

Otro índice para conocer la forma de la cuenca es el factor de forma

$$F_f = \frac{a_m}{e_a}$$

donde:

$F_f$ , factor de forma,  
 $a_m$ , anchura media de la cuenca,  
 $e_a$ , eje axial.

$$a_m = \frac{A}{e_a}$$

donde:

A, área total de la cuenca,  
 $e_a$ , eje axial.

c) *Pendiente*. La pendiente del terreno está relacionada con la infiltración, con el escurrimiento superficial, con la contribución del agua subterránea a la corriente y con la duración del escurrimiento. Existe un método (Wisler y Brater, 1959:45-46; 44) para obtener la pendiente media de una cuenca:

$$P = \frac{DL}{A}$$

donde:

P, pendiente media de la cuenca,  
 D, intervalo entre las curvas de nivel,  
 L, longitud total de las curvas de nivel,  
 A, área de la cuenca.

d) *Orientación*. La orientación de la cuenca y la de sus vertientes se relaciona con el tipo de precipitación, los vientos predominantes y la insolación.

e) *Altitud*. Influye principalmente en la temperatura y en la forma de precipitación. Un método para calcular este factor es el siguiente:

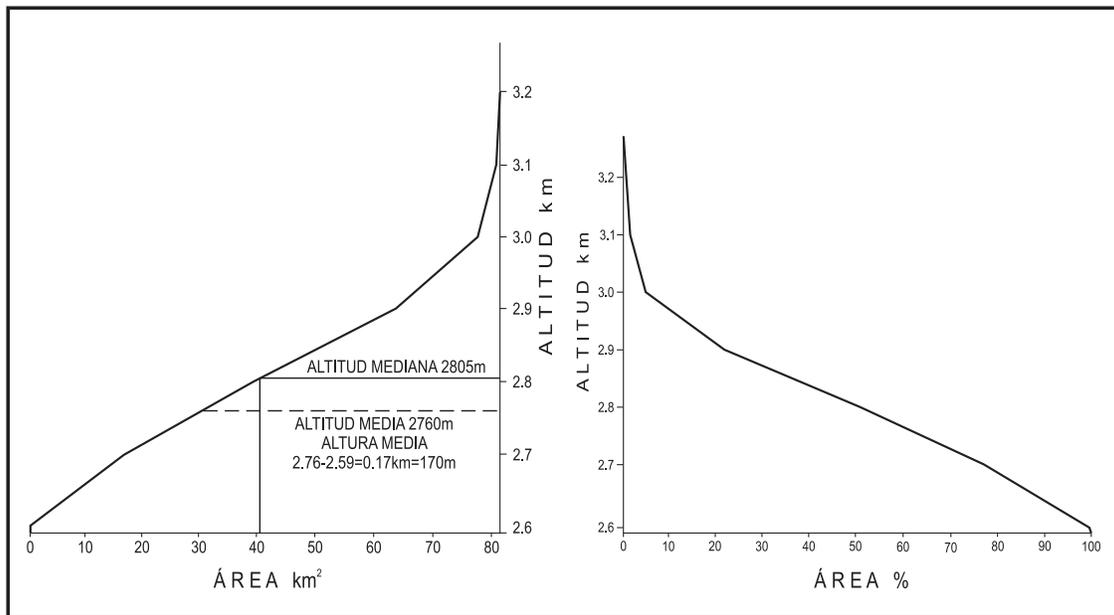
$$A = \frac{\sum se}{S}$$

donde:

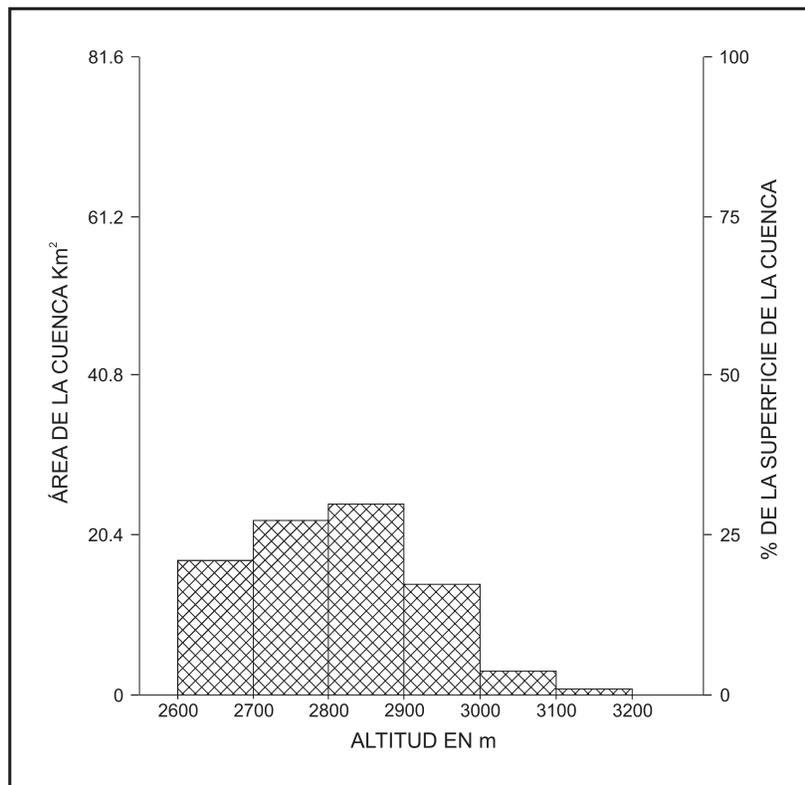
A, altitud media de la cuenca,  
 s, superficie entre dos curvas de nivel,  
 e, altitud media de la franja de terreno comprendida entre dos curvas de nivel,  
 S, superficie total de la cuenca.

Otro método para calcular la altitud media es por medio de la curva hipsométrica, misma que representa la forma media del relieve de la cuenca. Se construye llevando en el eje de las abscisas, longitudes proporcionales a las superficies proyectadas de la cuenca en kilómetros cuadrados o en porcentaje, comprendidas entre las curvas de nivel consecutivas, hasta sumar la superficie total, y en el eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas; la altura media se obtiene dividiendo el área comprendida bajo la curva hipsométrica entre la longitud que representa la superficie total de la cuenca (Figura V.3).

Cabe destacar que la curva hipsométrica muestra, como ya se dijo, el perfil medio del relieve de la cuenca, por lo que su análisis también está relacionado con el comportamiento del escurrimiento en la cuenca. Por otra parte, con los datos calculados para el trazo de la curva hipsométrica se construye el histograma de frecuencias altimétricas (Figura V.4), gráfica que representa las superficies en kilómetros cuadrados y



**Figura V.3. Curva hipsométrica y altitud media de la cuenca del río Tizar.**



**Figura V.4. Histograma de frecuencias altimétricas en la cuenca del río Tizar.**

en porcentajes, comprendidas entre las altitudes consideradas, lo cual da idea de la distribución del terreno en cuanto a las altitudes de la cuenca.

B. Factores físicos. Se refieren a las características físicas del terreno con su estructura y utilización.

a) *Uso y cubierta del suelo.* Cuando el terreno es virgen y está cubierto por vegetación, especialmente de bosques, contribuye a la estabilización de los regímenes de las corrientes; cuando es deforestado el agua corre rápidamente por la superficie. Por otra parte, también son importantes las obras que se efectúan en los mismos cauces de las corrientes, por ejemplo la construcción de una presa puede producir una sobreelevación del nivel del agua en el tramo anterior al embalse, esto genera un aumento en el nivel del cauce por el depósito de acarreo (azolve), lo cual influye aguas arriba de la corriente; además, afecta el perfil de las capas freáticas.

b) *Tipo de suelo.* Se refiere a la capacidad de infiltración del suelo. Entre más poroso sea y menor contenido de material coloidal posea, tendrá una mayor capacidad de infiltración, lo cual retardará la aparición del escurrimiento superficial.

c) *Geología.* Condiciona al escurrimiento en cuanto a la permeabilidad e impermeabilidad de las estructuras que forman el terreno. Cuando el terreno es permeable, el sistema fluvial, durante la época de estiaje, se encuentra bien abastecido por el escurrimiento subterráneo. Cuando el terreno es impermeable, el volumen de escurrimiento se concentra más pronto en el punto de desagüe y en la época de estiaje el nivel de la corriente disminuye considerablemente o bien desaparece.

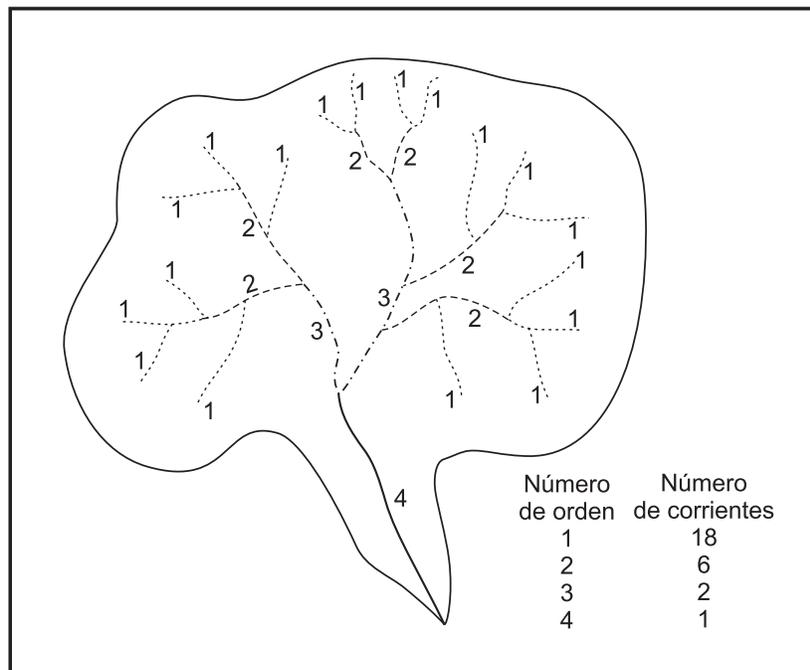
d) *Topografía.* A este respecto son importantes las ondulaciones del terreno y los límites superficiales de la cuenca hidrográfica. Las ondulaciones pueden ser la causa de la presencia de depresiones en donde se acumula el agua, disminuyendo la cantidad destinada al escurrimiento. En relación con la divisoria topográfica, puede ser que haya disparidad entre ésta y la freática, de manera que parte del escurrimiento subterráneo contribuya al escurrimiento de la cuenca vecina atravesando el límite topográfico o bien que reciba parte del escurrimiento subterráneo de esa cuenca vecina.

C. Red de drenaje. Se refiere a las características de los canales que comprenden el sistema fluvial de la cuenca. Refleja las condiciones del terreno sobre el que se desarrolla.

a) *Densidad hidrográfica.* Es la relación de la cantidad de corrientes que existen en la cuenca entre la superficie de ésta. Uno de los métodos para ordenar y contar el número de canales es el de Strahler (1964), que considera canales de primer orden a las corrientes formadoras. Cuando se unen dos canales de primer orden, forman otro de segundo orden, cuando se unen dos canales de segundo orden, forman otro de tercer orden y así sucesivamente (Figura V.5).

b) *Densidad de drenaje.* Resulta de dividir la longitud total de las corrientes de agua entre la superficie de la cuenca. Entre mayor sea este índice, más desarrollada estará la red de drenaje.

c) Otras características relacionadas con la red de drenaje son las que se refieren a la capacidad de almacenamiento de las corrientes y a la capacidad de transporte de las mismas.



**Figura V.5. Método para designar el orden de las corrientes de un río.**

#### 4. Medida del escurrimiento

Las técnicas y valoración de la medida del agua se agrupan bajo el nombre de Hidrometría.

Los lugares en los que se realizan las medidas del escurrimiento se denominan estaciones fluviométricas, hidrométricas o de aforos (Figura V.6).

Con respecto a la medida del escurrimiento, existen algunos términos que se emplean frecuentemente:

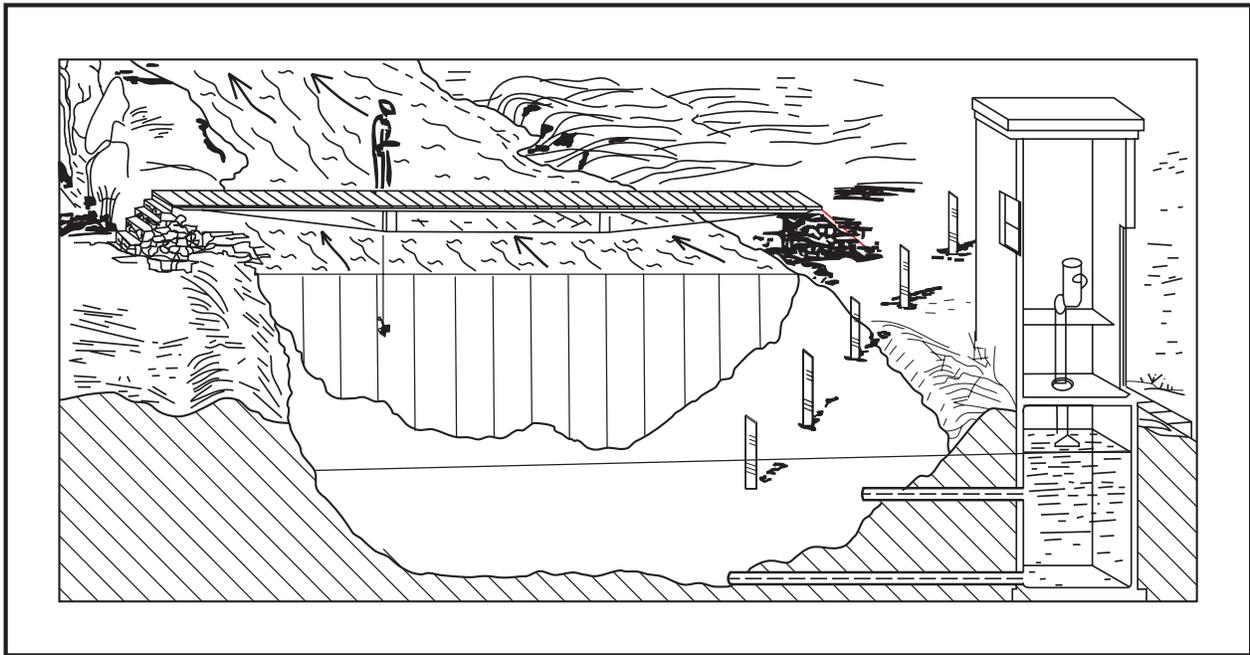
*Coefficiente de escurrimiento.* Es la relación entre la cantidad de agua escurrida y la cantidad de agua precipitada. Se expresa en porcentaje.

*Nivel de agua.* Es la altura del agua de los ríos en la sección en que se mide. Se expresa en unidades lineales.

*Velocidad.* Es la relación del espacio recorrido por el agua de las corrientes en un tiempo determinado. Se puede hablar de velocidad media, superficial o a diferentes profundidades. Se expresa en m/seg.

*Gasto o caudal.* Es el volumen de agua que pasa por determinada sección del río en un intervalo de tiempo. Resulta de multiplicar la velocidad del agua por el área de la sección donde se midió dicha velocidad. Se refiere a gasto o caudal instantáneo, máximo, mínimo y medio. Se expresa en m<sup>3</sup>/seg.

*Avenida.* Es el aumento del caudal del río debido a la intensidad o frecuencia de las precipitaciones. Puede durar horas o días. No necesariamente causa inundaciones.



**Figura V.6. Estación hidrométrica, de aforos o pluviométrica.**

*Aportación.* Es el volumen total escurrido en un período determinado: un día, un mes, un año. Se habla de aportación media anual o escurrimiento medio anual cuando se promedia la aportación de varios años. Se expresa en  $m^3/seg$ .

*Altura media del escurrimiento.* Resulta de dividir el volumen medio total escurrido entre la superficie de la cuenca. Se expresa en milímetros.

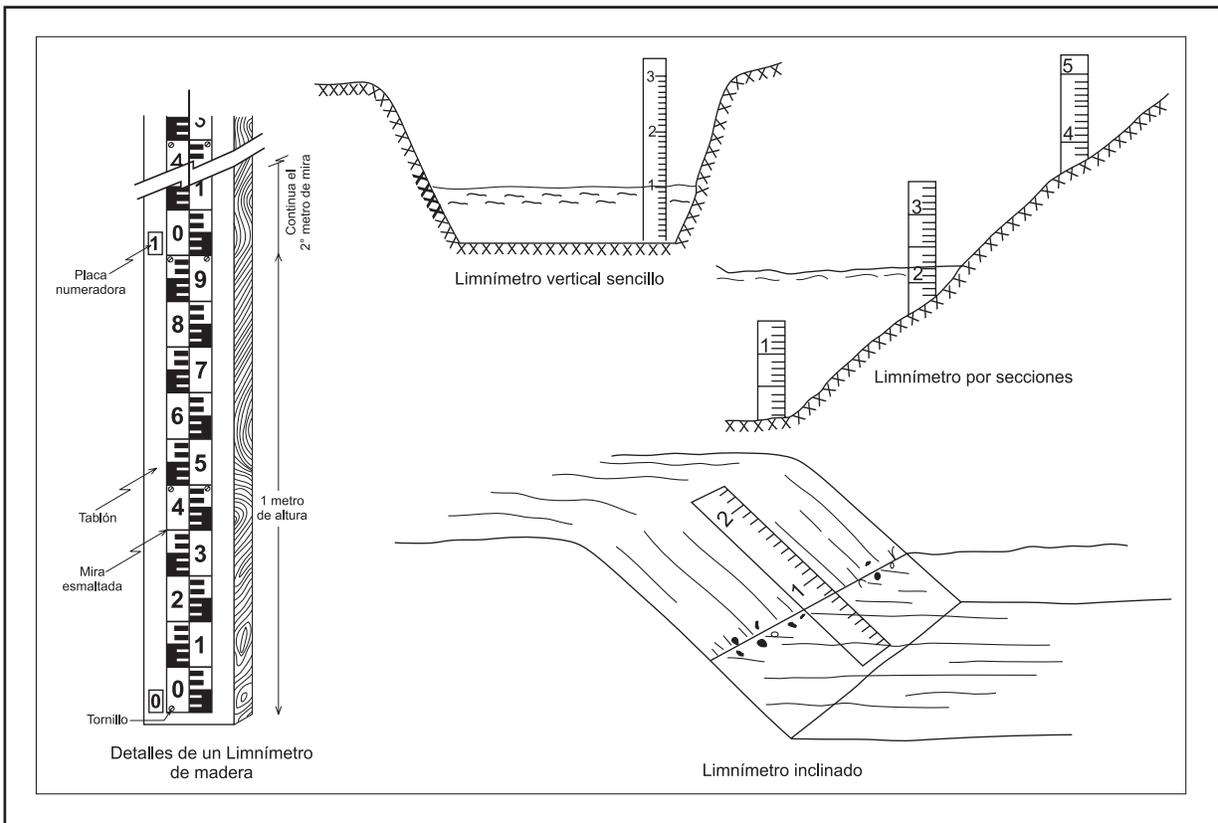
### 1. Medida del nivel de agua

La medida del nivel de agua interesa por la relación que guarda con el caudal que lleva el río. Los instrumentos que se emplean son los limnómetros y los limnógrafos.

Los limnómetros están destinados a la observación directa del nivel de agua de los ríos. Los más usados son escalas graduadas hechas de diversos materiales: madera, hierro, plástico, cerámica, etc. Los más comunes son los de madera. Se colocan normalmente en la orilla de los ríos, de tal manera que el cero de la escala coincida con el fondo del cauce. En ocasiones, cuando se quiere estabilizar el cauce del tramo del río escogido para realizar los aforos, se cubre éste con una capa de concreto y en una de las paredes se marca la escala limnimétrica. También se puede utilizar el limnómetro por secciones, que consiste en montar secciones cortas de tal forma que una de ellas siempre quede accesible (Figura V.7).

Los limnógrafos son aparatos que registran continuamente las variaciones del nivel del agua.

Son dos los sistemas fundamentales de funcionamiento de estos aparatos: uno basado en el registro del movimiento de un flotador y otro basado en el registro de la variación de la presión del agua.

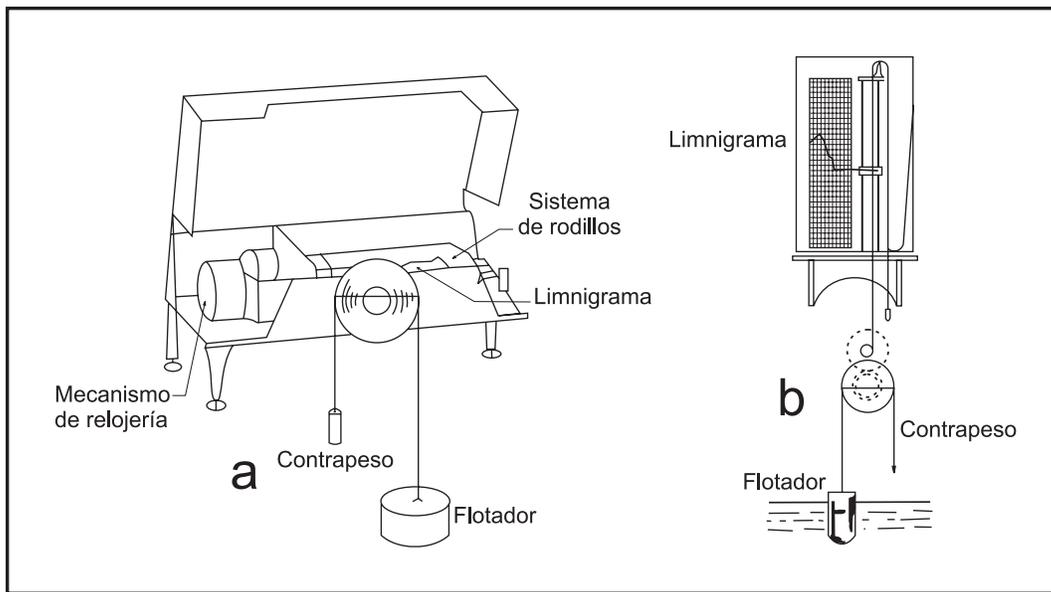


**Figura V.7. Limnómetros.**

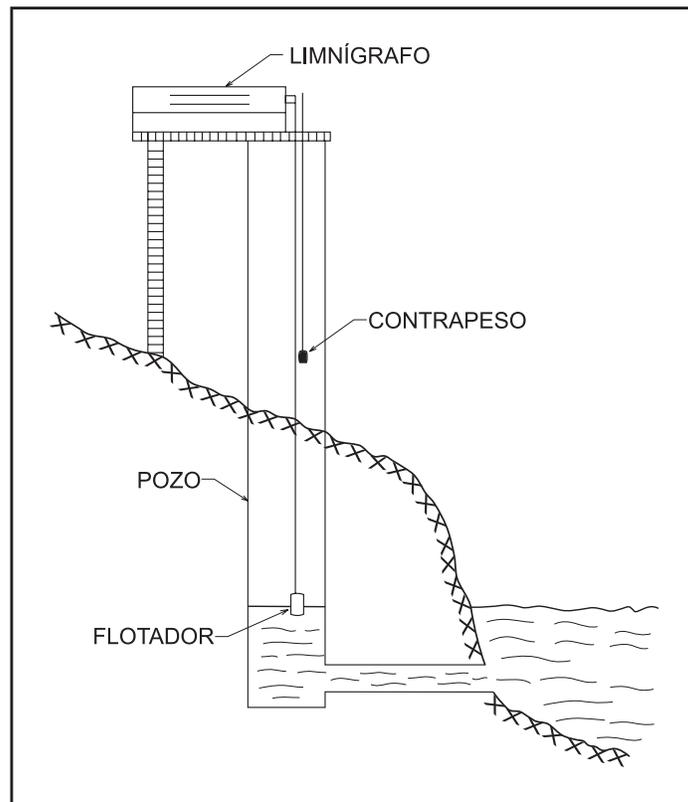
En el primer caso, los aparatos constan de un tambor o sistema de rodillos acoplados a un mecanismo de relojería, un flotador con contrapeso y una caja instrumental que protege a las partes más delicadas contra la humedad y el polvo. En el tambor o sistema de rodillos va colocada una gráfica en la que queda registrada la variación del nivel del agua, el movimiento del flotador, colocado sobre la superficie del agua, mueve una pluma a lo largo de la gráfica, y cuando llega al borde, invierte su dirección y continúa el registro en sentido contrario o bien puede seguir atravesando el límite superior de la gráfica y empezar de nuevo por el límite inferior cuando el mecanismo de relojería es el que acciona la pluma y el movimiento del flotador acciona el tambor (Figura V.8).

Un aparato registrador tipo flotador requiere de un pozo amortiguador que sirve para proteger el flotador y los cables de contrapeso de los residuos flotantes y de las olas superficiales de la corriente (Figura V.9).

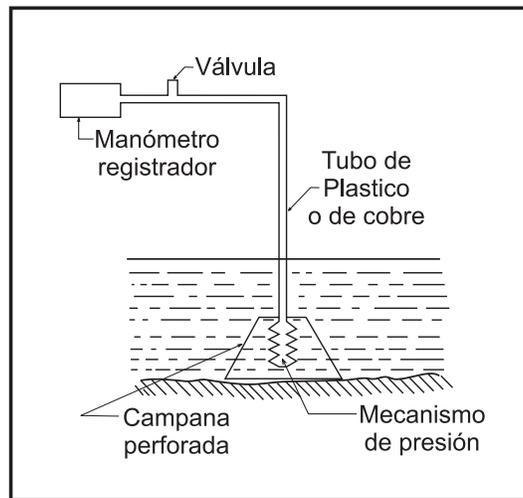
En el caso de los limnógrafos de presión, las fluctuaciones del nivel del agua ejercen variaciones de presión sobre diversos mecanismos instalados en el fondo del cauce, según el modelo del aparato, esas variaciones son transmitidas a un manómetro comunicado con el tambor del limnógrafo en el que se registran gráficamente. Este tipo de aparatos no requieren pozo amortiguador y se emplean en ríos con orillas muy tendidas (Figura V.10).



**Figura V.8. Linnígrafos de flotador.**



**Figura V.9. Linnígrafo de flotador y pozo amortiguador.**



**Figura V.10. Limnígrafo de presión.**

Toda instalación de limnígrafo exige una instalación de limnímetro para referencia.

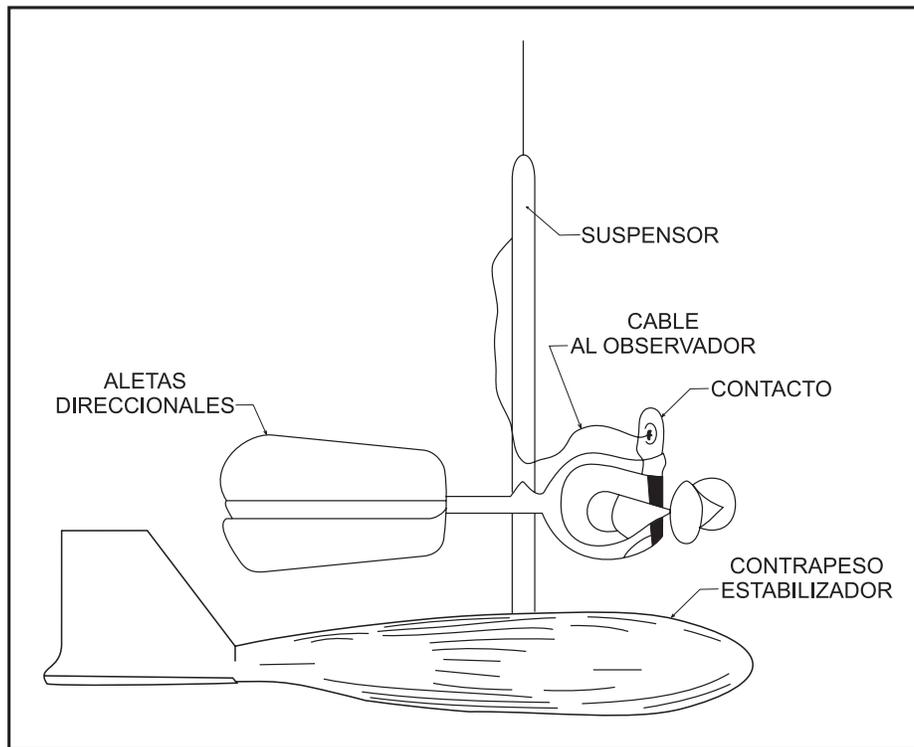
## 2. Medida de la velocidad del agua

Los aparatos más empleados para medir la velocidad de las corrientes de agua son los molinetes (fluviómetros). El mecanismo de su funcionamiento consiste en que el movimiento de la corriente hace girar un eje a través de una hélice o sistema similar. Mientras la velocidad de la corriente permanezca constante, el eje girará también con una velocidad constante, de manera que al medir la velocidad de rotación del eje, mediante una fórmula, se puede conocer la velocidad de la corriente; dicha fórmula viene indicada en el aparato. La velocidad del eje se mide a través de un circuito eléctrico que permite salvar la distancia del observador al aparato. Así, cada determinado número de revoluciones del eje suena un timbre, cuyos golpeteos se pueden contrastar fácilmente con un cronómetro, llegando a conocer con suficiente exactitud el número de revoluciones por minuto.

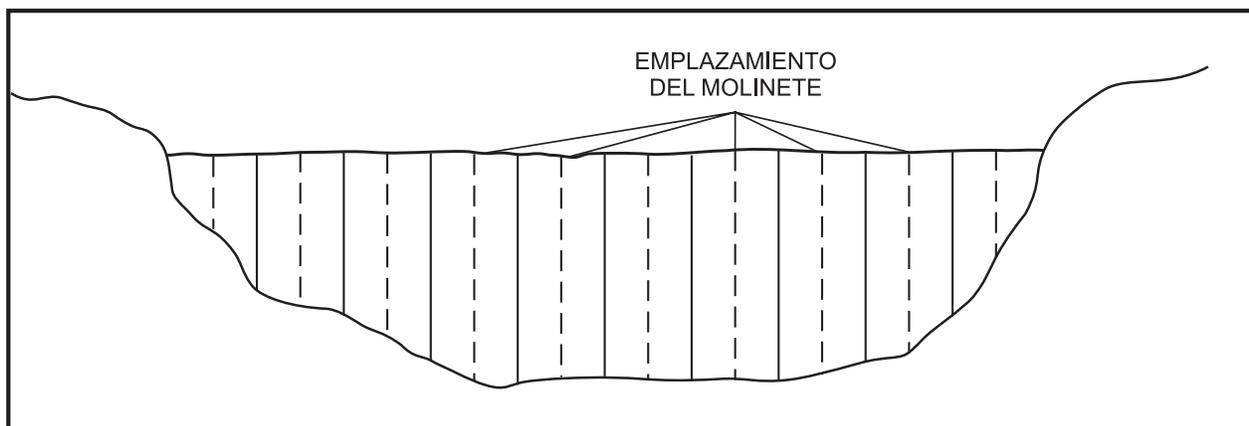
Existen diversos tipos de molinete, pero en general todos constan del molinete propiamente dicho, de un contrapeso estabilizador y del sistema de sustentación que puede ser de barras o tornos (Figura V.11).

### Aforos

La manera más práctica de utilizar el molinete para aforar es la que se realiza dividiendo la superficie libre de una sección transversal del río en varias fajas verticales, fijando en cada una de ellas un punto cuya vertical constituye la mediana. El primero y último de los puntos deben estar muy próximos a una y otra orillas, respectivamente. Se sitúa el molinete en cada una de las medianas a distintas profundidades, con lo que se logra conocer la velocidad del río a esas diferentes profundidades en diversas verticales (Figura V.12). Para el cálculo del aforo se multiplica la velocidad media de cada vertical, que se presenta aproximadamente a los 6/10 de la profundidad, por el área de la faja correspondiente y sumando el gasto obtenido en cada una de ellas se tiene el caudal que pasa por esa sección transversal.



**Figura V.11. Molinete.**



**Figura V.12. División en franjas de la sección transversal de un río, para efectuar el aforo con molinete.**

Otra manera de determinar el gasto de un río es por medio de flotadores. Un flotador puede ser cualquier cuerpo que flota en la corriente de agua.

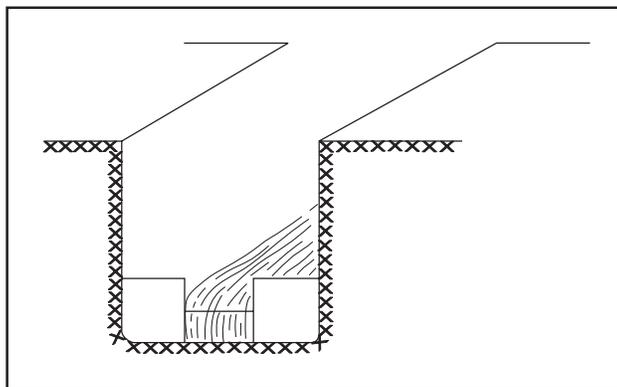
Se señalan dos secciones transversales medidas, situadas a una distancia conocida (L) que constituya un trazo lo más recto posible del río. Se divide la corriente en tres o más canales y se arrojan en ellos varios flotadores aguas arriba de la primera sección transversal y se miden los tiempos invertidos al pasar de una sección a otra, repitiendo esta operación varias veces con objeto de obtener con mayor aproximación el valor de la velocidad de las aguas. Se deduce la media aritmética de los tiempos (tm) de cada canal y la velocidad media (vc) de cada uno de ellos:

$$vc = 0.85 \frac{L}{tm}$$

Por último, se determina el caudal total cuyo valor será la suma de los caudales de cada canal obtenidos al multiplicar la velocidad media de cada canal por el área transversal de los mismos.

Un tercer procedimiento son los aforos químicos, en los que se emplean fórmulas basadas en la variación de concentración que experimenta una solución al ser vertida sobre el cauce de un río en el cual circula un caudal determinado que se trata de conocer.

En ocasiones, cuando el gasto de la corriente es escaso, se hace una construcción especial, un vertedor, a través del cual se canaliza el agua y se afora mediante una fórmula que toma en cuenta, entre otros factores, la forma del vertedor y la altura que alcanza el agua en el mismo (Figura V.13).



**Figura V.13. Vertedor.**

## 5. Gráficas relativas al escurrimiento

*Limnigramas.* Son gráficas registradas por el limnógrafo. Constituyen curvas trazadas por la intervención de dos variables: el tiempo y el nivel del agua (Figura V.14).

*Curva de gastos o de descarga.* Se traza con niveles de agua y caudales; a cada nivel de agua le corresponde un cierto caudal o gasto. Cuando se tiene controlada esta curva de gastos se puede obtener con bastante aproximación el caudal o gasto del río con solo observar el nivel del agua (Figura V.15).

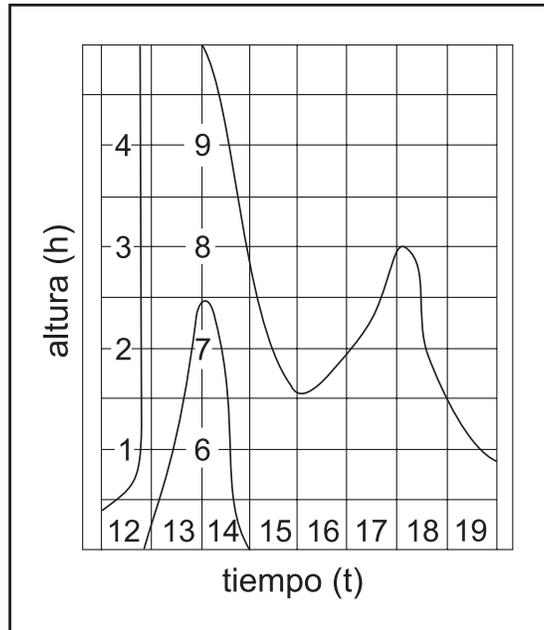


Figura V.14. Limnigrama. h, altura del agua en metros, t, tiempo en horas.

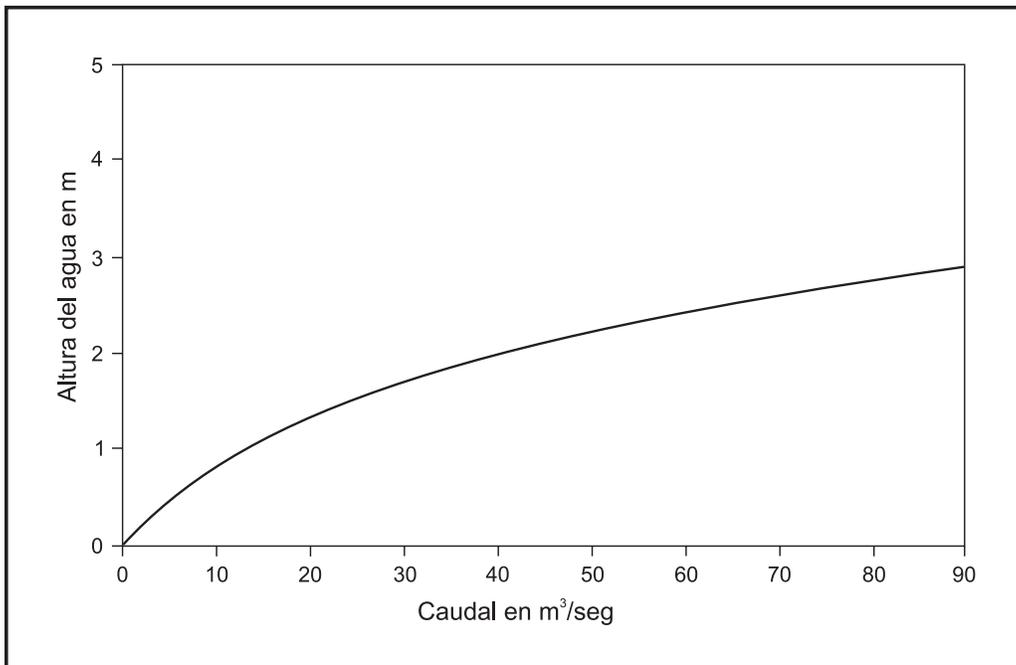


Figura V.15. Curva de gastos o de descarga.

**Hidrograma.** Es la curva que resulta de graficar los caudales en el tiempo en que se presentan. Sirve para estudiar la variación del caudal en las corrientes.

Se considera al hidrograma como una expresión integral de las características fisiográficas y climatológicas de la cuenca. Un hidrograma típico adquiere una forma acampanada en el que la punta, o sea el caudal máximo, corresponde a la máxima intensidad de la lluvia y estos dos fenómenos no necesariamente ocurren al mismo tiempo. Este tiempo depende de la distribución de la lluvia en la superficie de la cuenca. Por lo general el análisis de los hidrogramas se hace cuando éstos resultan de precipitaciones muy intensas, que son las que alteran el flujo de las corrientes de agua.

La presencia de varias puntas en un hidrograma se puede deber a varias tormentas consecutivas, o a que el escurrimiento con que contribuyen los diversos afluentes no se presenta de manera sincronizada. Un hidrograma simple consta de las siguientes partes (Figura V.16):

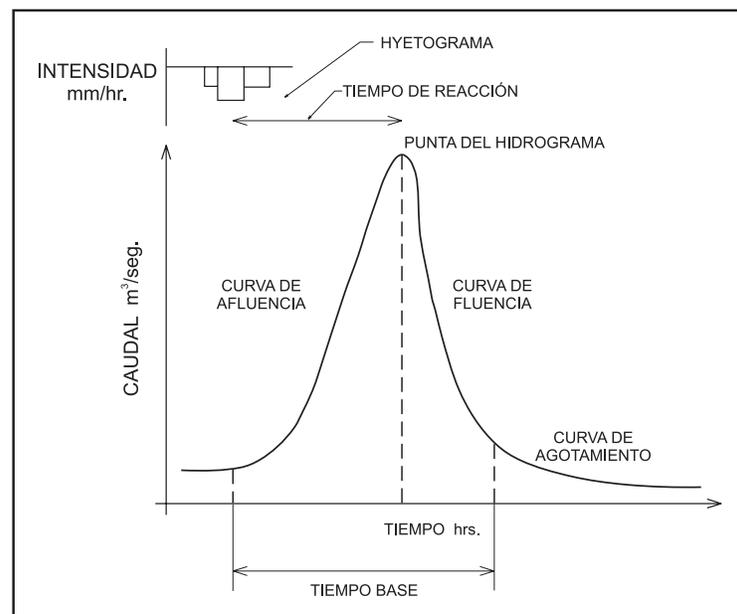
**Curva de afluencia o de concentración.** Es el tramo ascendente.

**Curva de fluencia.** Es el tramo que va desde la punta del hidrograma al comienzo de la curva de agotamiento.

**Curva de agotamiento.** Es el tramo asintótico hacia el caudal permanente.

**Tiempo base.** Es el tiempo que abarca desde el momento en que los caudales empiezan a subir hasta donde comienza la curva de agotamiento.

**Tiempo de reacción.** Es el tiempo que transcurre entre el instante que corresponde al centro del histograma y el perteneciente a la punta del hidrograma.



**Figura V.16. El hidrograma y sus partes.**

## 6. Medida del caudal sólido de los ríos

Representa uno de los problemas de mayor complejidad en el campo de la hidrología.

### 1. Medida del caudal de acarreos

Se realiza mediante aparatos denominados nasas e incluyen una amplia gama, diseñados en distintos países (Figura V.17). En general están constituidos por una caja prismática de paredes enrejilladas, quedando descubierta la cara que se coloca aguas arriba de la corriente. La nasa se coloca sobre el fondo del lecho, de tal modo que los acarreos que comprenden la anchura del aparato son recogidos por éste. Se determina el peso de los materiales (P) recogidos durante un determinado tiempo (t), y se admite que el gasto medio de acarreos (Q) captados por la nasa es

$$Q = P / t.$$

El mantenimiento de la estabilidad y la buena adherencia de la nasa sobre el fondo, es un problema delicado de resolver. También existen grandes dificultades por las enormes fluctuaciones en el tiempo y en el espacio del gasto sólido acarreado.

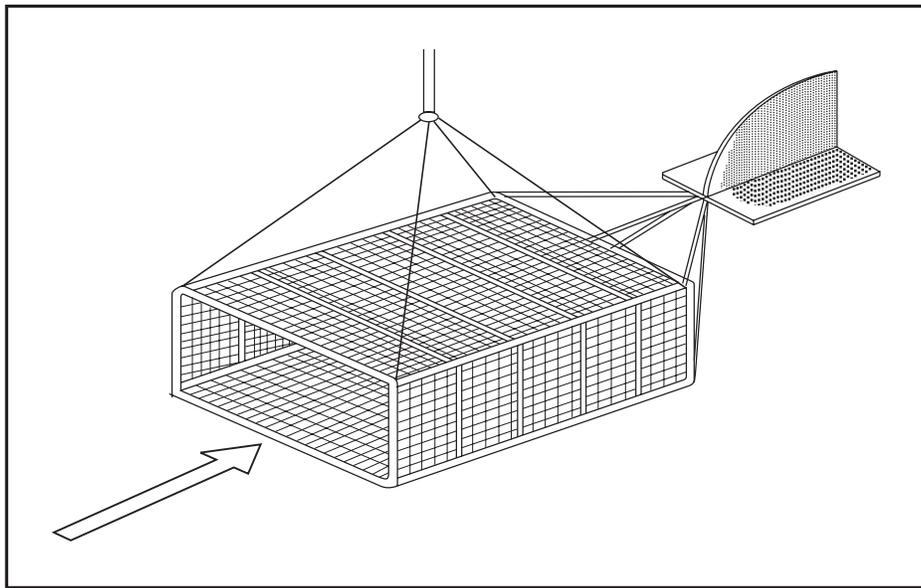
### 2. Medida del caudal sólido en suspensión

La toma de muestras es más o menos frecuente según el régimen de las aguas. En época de avenidas se deben tomar tantas muestras como sea posible. Está comprobado que un 80% del caudal sólido de un año pasa precisamente en esa época, por lo que se aconseja hacer una toma cada media hora. En épocas de régimen normal, cuando la variación del caudal es pequeña, se reduce la frecuencia de tomas hasta unas dos veces por semana. En época de estiaje es suficiente un muestreo quincenal.

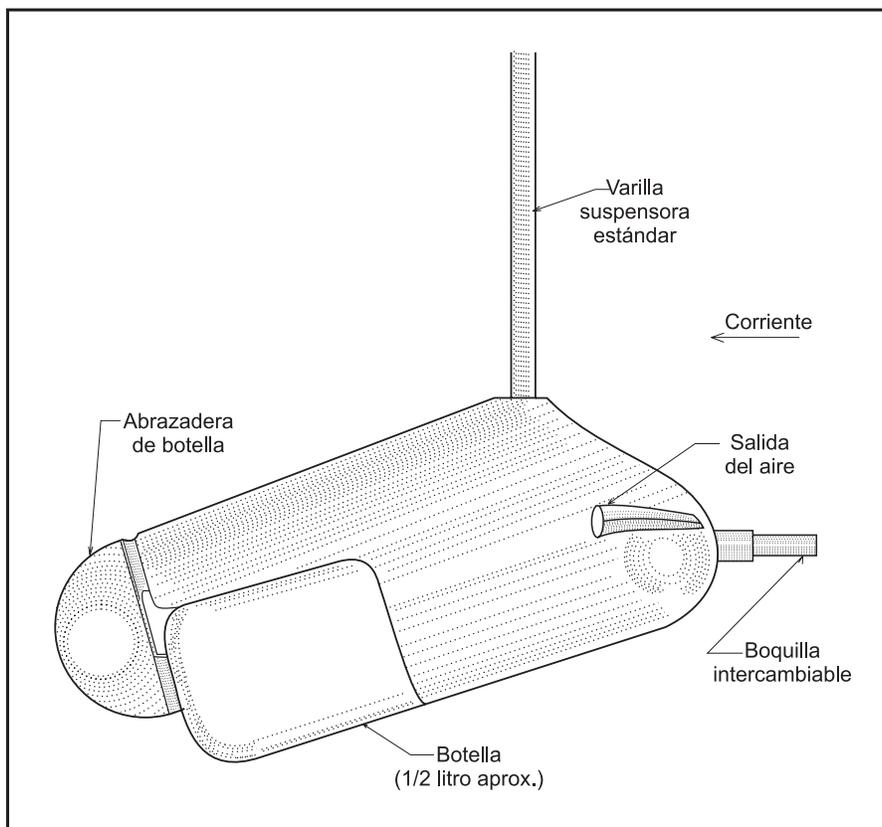
La toma de muestras de agua se realiza con aparatos que perturben lo menos posible al régimen existente, los que se utilizan son las turbisondas (Figura V.18). Éstas permiten obtener no sólo muestreos puntuales, sino también muestras integrales a lo largo de las verticales, lo cual evita errores al hacer promedios.

Las turbisondas constan de un cuerpo hidrodinámico de bronce fundido en cuyo interior va alojada una botella tipo estándar, cuyo llenado se efectúa mediante un sistema compensador de presiones, que obliga a entrar al agua con la misma velocidad de la corriente. El procedimiento de toma de muestras se lleva a cabo suspendiendo la turbisonda y desplazándola verticalmente con velocidad uniforme desde la superficie hasta el fondo y viceversa. No conviene que la botella se llene totalmente, pues podría ocurrir que lo hubiera hecho antes de efectuar el recorrido completo. Asimismo, tampoco es conveniente que se llene poco, pues la escasez de muestra no permitiría hacer debidamente los análisis posteriores. Se puede considerar que la muestra está bien tomada cuando la botella está llena en sus cuatro quintas partes.

Con objeto de evitar las dificultades que encierran las observaciones y operaciones de toma de muestras, es conveniente la utilización de procedimientos de medida continua.



**Figura V.17. Nasa.**



**Figura V.18. Turbisonda.**