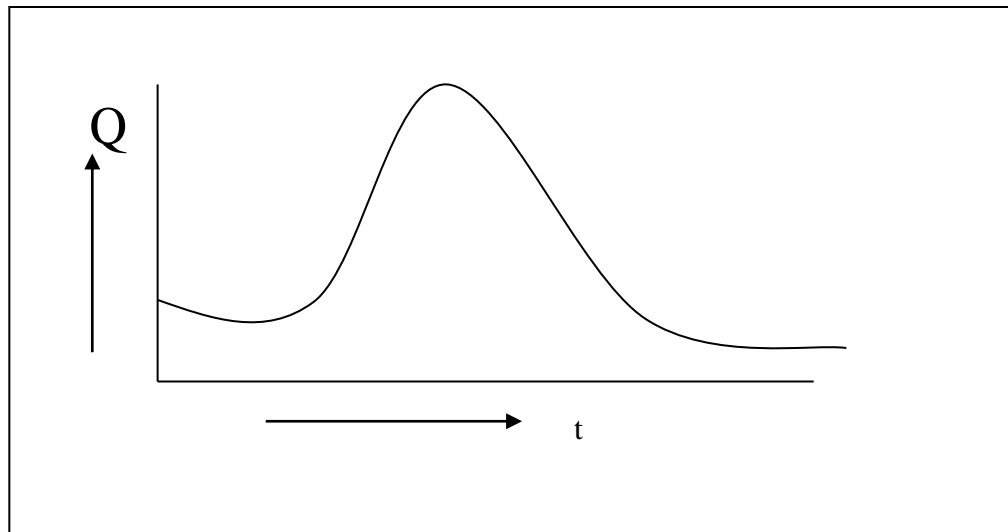


ANÁLISIS DE CAUDALES (II)

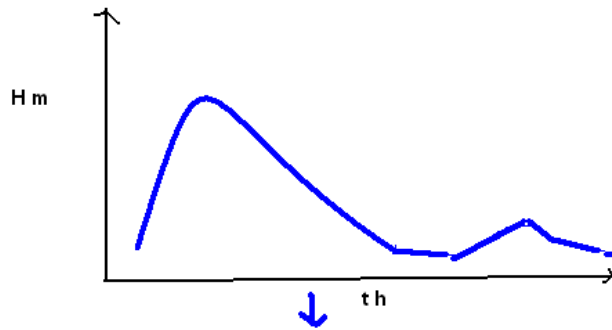
Profesor Luis Fernando Carvajal

Relaciones nivel-caudal

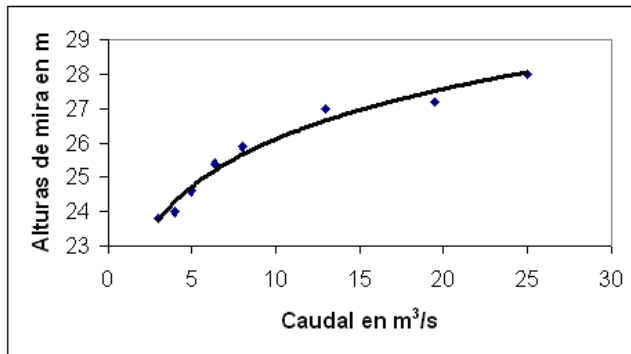
1. El objetivo de aforar una corriente, durante varias épocas del año en una sección determinada, es determinar lo que se conoce como la **curva de calibración de la sección**.
2. Por medio de esta curva, se obtienen los **hidrogramas** o gráficas que muestran la variación del caudal contra el tiempo en una sección determinada.
3. Las curvas de calibración pueden cambiar por efectos erosivos, agradación, efectos de curvas de remanso o debido a flujo no permanente.



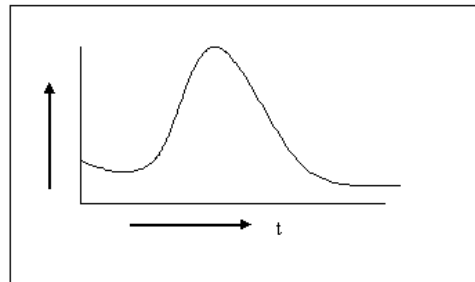
Niveles a caudales en una sección



→ Lectura de nivel

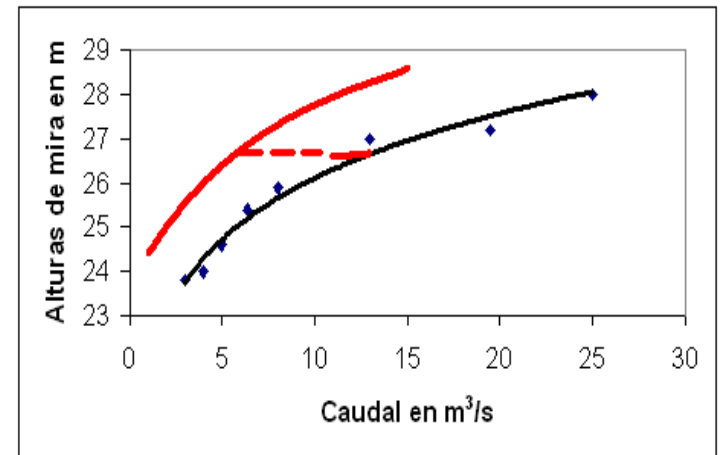
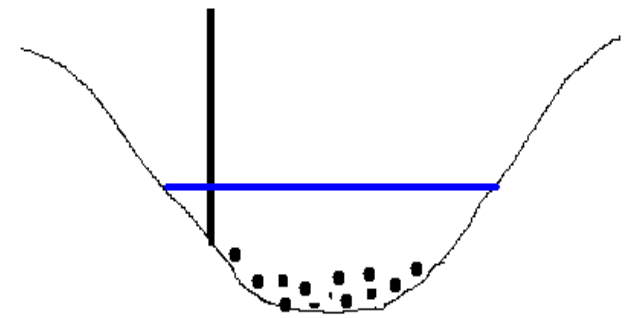
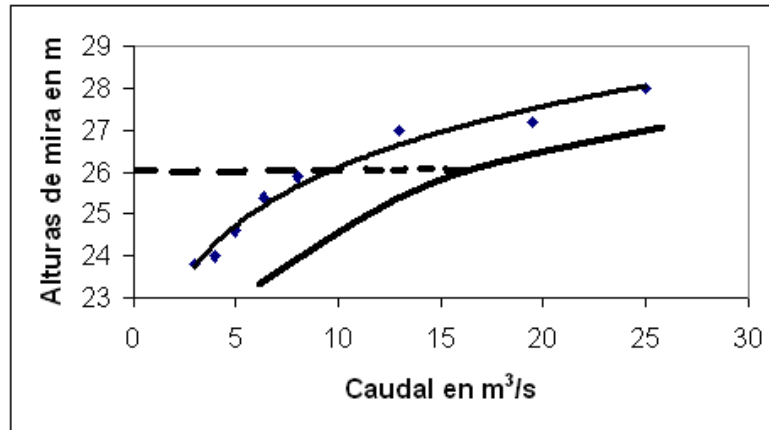
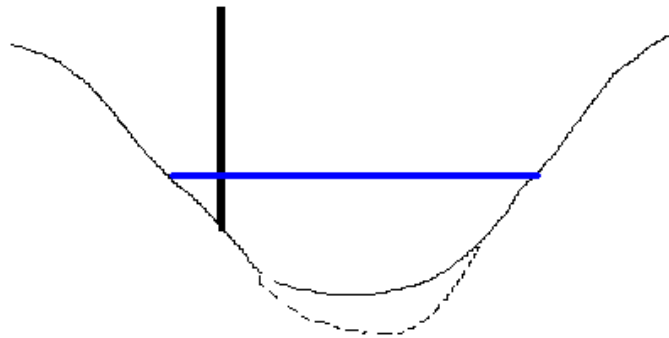


→ Curva de calibración



→ Hidrograma

Erosión y agradación del lecho



LIMNIMETROS



LIMNIGRAFOS-FLOTADOR

Limnógrafo Registrador Horizontal Tipo X



Registrador de nivel con flotador diseñado para el registro continuo del nivel del agua superficial o subterránea

- Largo tiempo de uso
- Muy alta exactitud por alta precisión de fabricación
- El instrumento fiable probado por muchos años de uso bajo las mas variadas condiciones, en el mundo entero



Limnógrafos de flotador



Modelo "DELTA"



Modelo "ALPHA"



Modelo "XI"



Nivel del agua



Extrapolación de las curvas de calibración

Método logarítmico

Si la sección de un río puede aproximarse a una figura geométrica conocida como un rectángulo, trapecio, triángulo, etc, el caudal, Q , puede expresarse como:

$$Q = C(H - H_0)^n$$

Donde:

Q : caudal

H : nivel medido en la mira

H_0 : nivel cuando Q es cero

C y n : constantes.

La expresión anterior es equivalente a:

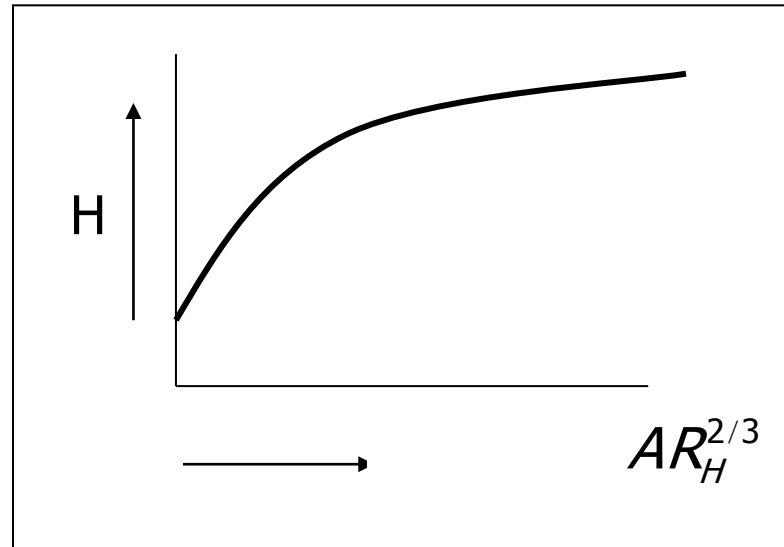
$$\log Q = \log C + n \log(H - H_0)$$

Procedimiento

- a) De la curva de la calibración, se seleccionan parejas de valores Q y H .
- b) Se asumen diferentes valores de H_0 y se grafican $\log Q$ vs $\log(H-H_0)$
- c) El valor correcto de H_0 es aquél que permite, al graficar las parejas de valores, un ajuste a una línea recta.
- d) Se encuentran C y n
- e) Se calcula Q para el valor deseado de H

Método de Manning

a) Se dibuja para la sección la relación H vs A

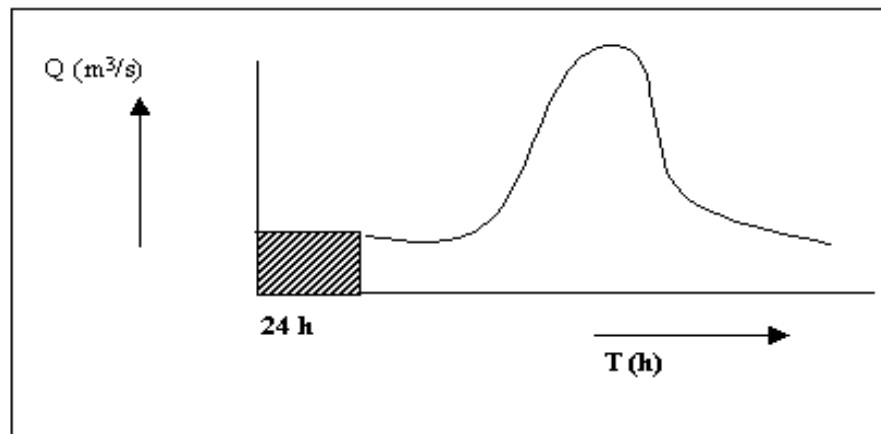


b) De la gráfica anterior, para un nivel máximo observado, H , se obtiene A

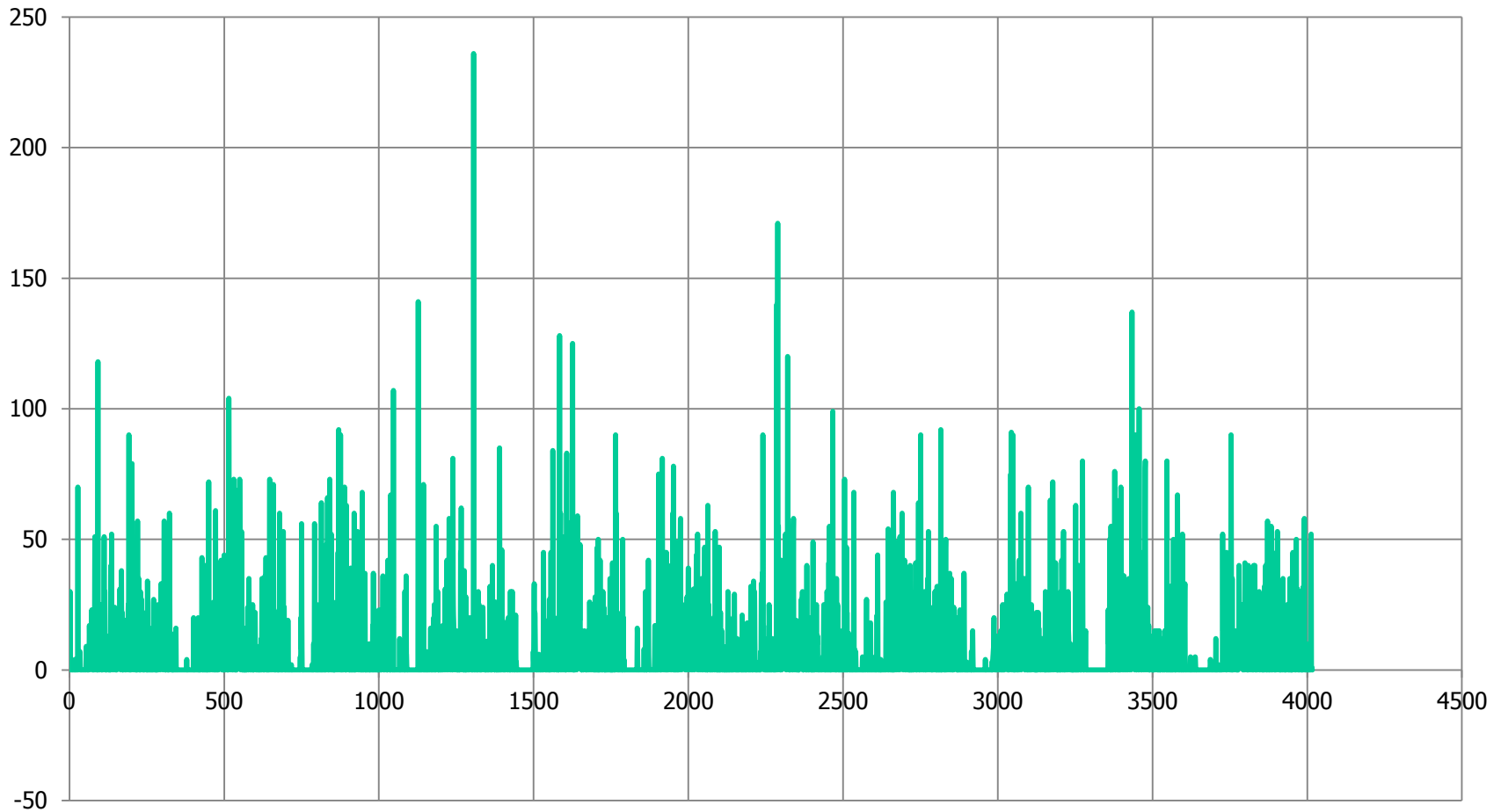
c) Con la ecuación de Manning, se calcula el caudal, Q .

DEFINICIONES

Caudal medio diario: es la tasa promedio de descarga en m^3/s para un período de 24 horas. Si se dispone de un limnógrafo (dispositivo que permite el registro continuo de los niveles en el tiempo), se puede obtener la hidrógrafa, y calcular el caudal medio diario. Si no se tiene limnógrafo, para hallar el caudal promedio diario, es necesario hallar los caudales correspondientes al menos a 3 lecturas de mira diarias y luego promediarlos



Ejemplo-datos caudales medios diarios



- **Caudal promedio mensual interanual.** Es la media de los caudales medios mensuales para un mes dado, durante un período de n años.
- **Caudal medio anual.** Es la media de los caudales promedios diarios durante un año.
- **Caudal máximo instantáneo anual.** Es el máximo caudal que se presenta en un año determinado. Para su determinación, es necesario que la estación de aforo tenga limnógrafo. Si no es así, se habla de **caudal máximo promedio anual** el cual es menor que el máximo instantáneo anual.
- **Caudal medio mensual, Q_m .** Se calcula hallando para cada mes la media aritmética de los caudales promedios diarios.
- **Caudal mínimo anual.** Es el menor caudal que se presenta durante un año determinado.

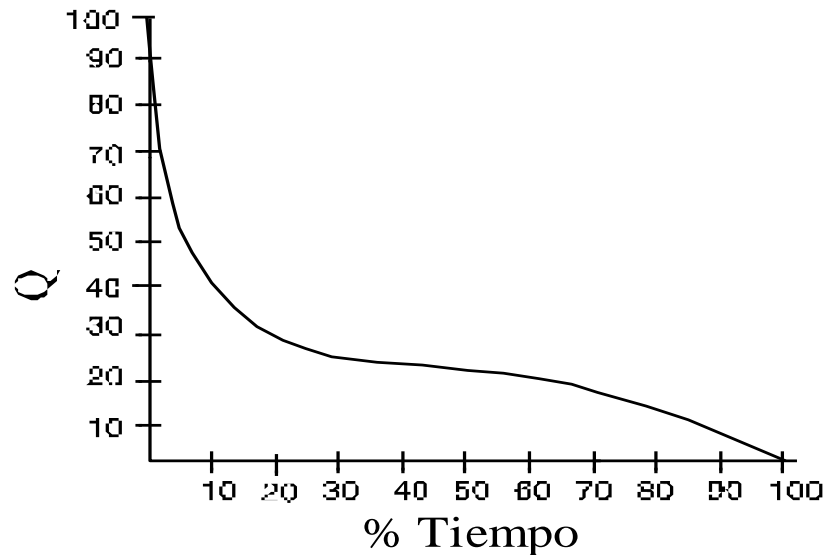
Curva de duración de caudal

La curva de duración es un procedimiento gráfico para el análisis de la frecuencia de los datos de caudales y representa la frecuencia acumulada de ocurrencia de un caudal determinado. Es una gráfica que tiene el caudal, Q , como ordenada, y el número de días del año (generalmente expresados en % de tiempo) en que ese caudal, Q , es excedido o igualado, como abscisa. La ordenada Q para cualquier porcentaje de probabilidad, representa la magnitud del flujo en un año promedio, que espera que sea excedido o igualado un porcentaje, P , del tiempo.

$$P = \frac{m}{N} \times 100$$

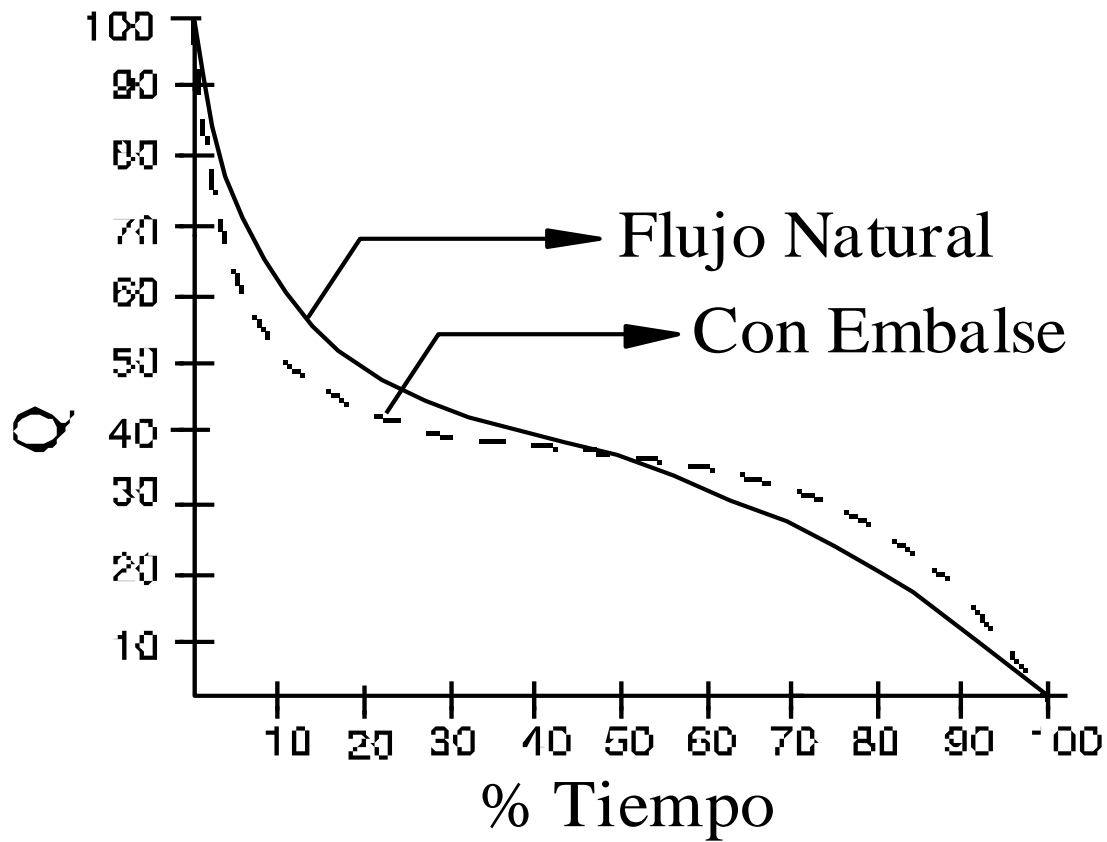
Curva de duración de caudal

Las curvas de duración se usan en la planeación de recursos hidráulicos, para evaluar el potencial hidroeléctrico de un río, para estudios de control de inundaciones, en el diseño de sistemas de drenaje, para calcular las cargas de sedimento, comparar cuencas cuando se desea trasladar registros de caudal y la estimación del caudal ecológico (un criterio es el caudal que corresponde al 10% de probabilidad de no excedencia).

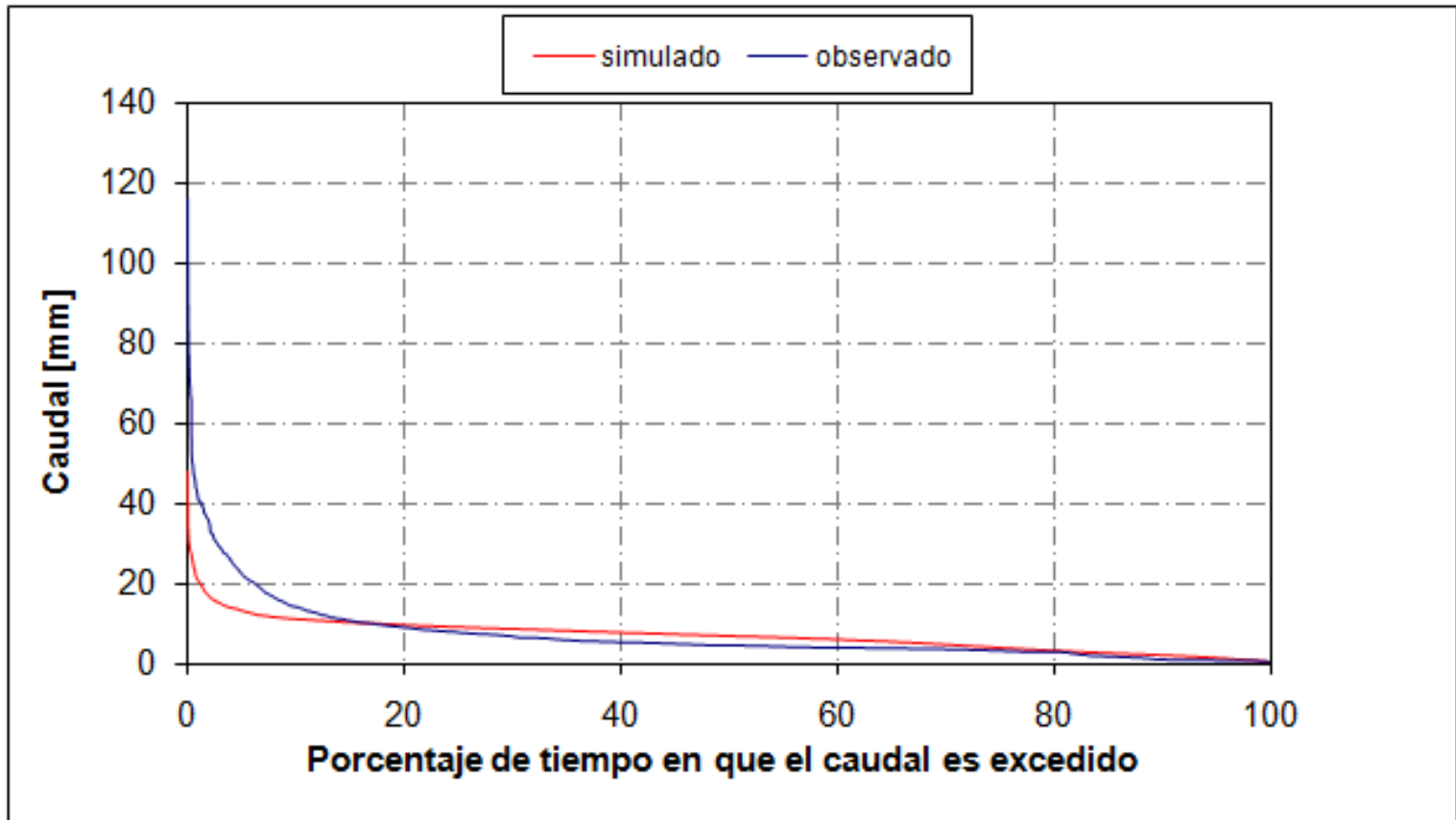


Características de la curva de duración

- 1) La pendiente depende del tipo de datos. Por ejemplo, caudales diarios producen una curva más pendiente que una calculada con caudales mensuales, debido a que los picos se suavizan con registros mensuales.
- 2) La presencia de un embalse modifica la naturaleza de la curva de duración.
- 3) Cuando se dibuja en papel logarítmico la curva de duración, se obtiene una línea recta, al menos en la región central. De esta propiedad, se hallan varios coeficientes que expresan la variabilidad del flujo en el río y pueden usarse para describir y comparar varias corrientes.
- 4) Pendientes altas en la curva de duración dibujada en papel log-log indican caudales muy variables. Pendientes bajas indican respuestas lentas a la lluvia y variaciones pequeñas del caudal. Una curva suave en la parte superior es típica de un río con grandes planicies de inundación.



Ejemplo de curva de duración



Caudales característicos

- *Caudal característico máximo:* Caudal rebasado 10 días al año.
- *Caudal característico de sequía:* Caudal rebasado 355 días al año.
- *Caudal de aguas bajas:* caudal excedido 275 días al año o el 75 % del tiempo.
- *Caudal medio anual:* es la altura de un rectángulo de área equivalente al área bajo la curva de duración.

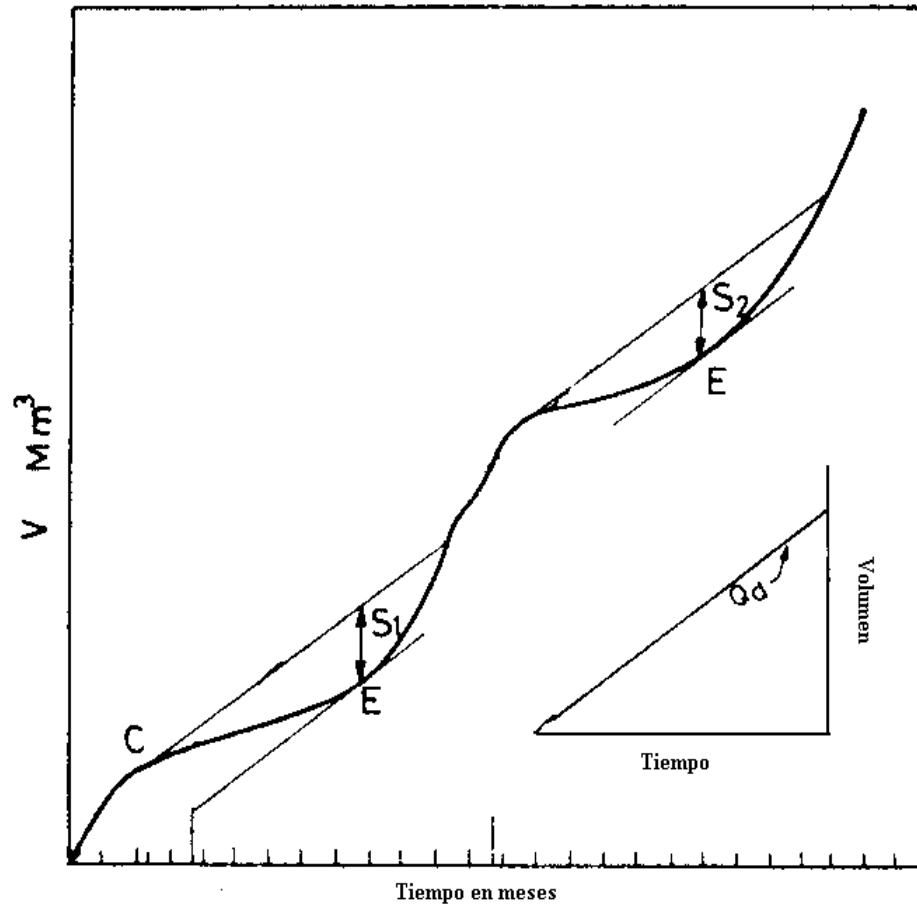
Curva de masas

La curva de masas es un gráfico del volumen acumulado contra el tiempo en orden cronológico; se usa para calcular el volumen de embalse necesario, en un posible sitio de aprovechamiento,

$$V = \int_{t_0}^t Q dt$$

El valor máximo de S para un caudal de diseño determinado, es el volumen de embalse requerido. Para la aplicación de este método se requiere una serie larga de registros, de tal manera que estén incluidos varios períodos de sequías.

Ejemplo curvas de masas



Ejemplo

Los caudales promedios diarios quincenales de un año típico en una estación de aforo se dan en la siguiente tabla. Construir la curva de masas y determinar el volumen de embalse necesario para un caudal de diseño de 101 m³/s

Mes	Días acumulados	Q m ³ /s	Volumen acumulado Mm ³ x 10 ³
Enero	15	110	142.5
	31	95	273.5
Febrero	45	85	376.4
	59	71	462.2
Marzo	74	63	543
	90	52	615
Abril	105	41	668.8
	120	31	709.0
Mayo	135	20	734.9
	151	18	759.7
Junio	166	20	785.68
	181	42	840.08
Julio	196	125	1002.08
	212	270	1375.08
Agosto	227	410	1907.08
	243	460	2543.08
Septiembre	258	405	3068.08
	273	250	3092.08
Octubre	288	140	3573.58
	304	96	3707.38
Noviembre	319	63	3788.88
	334	55	3860.08
Diciembre	349	56	3932.68
	365	100	4070.68

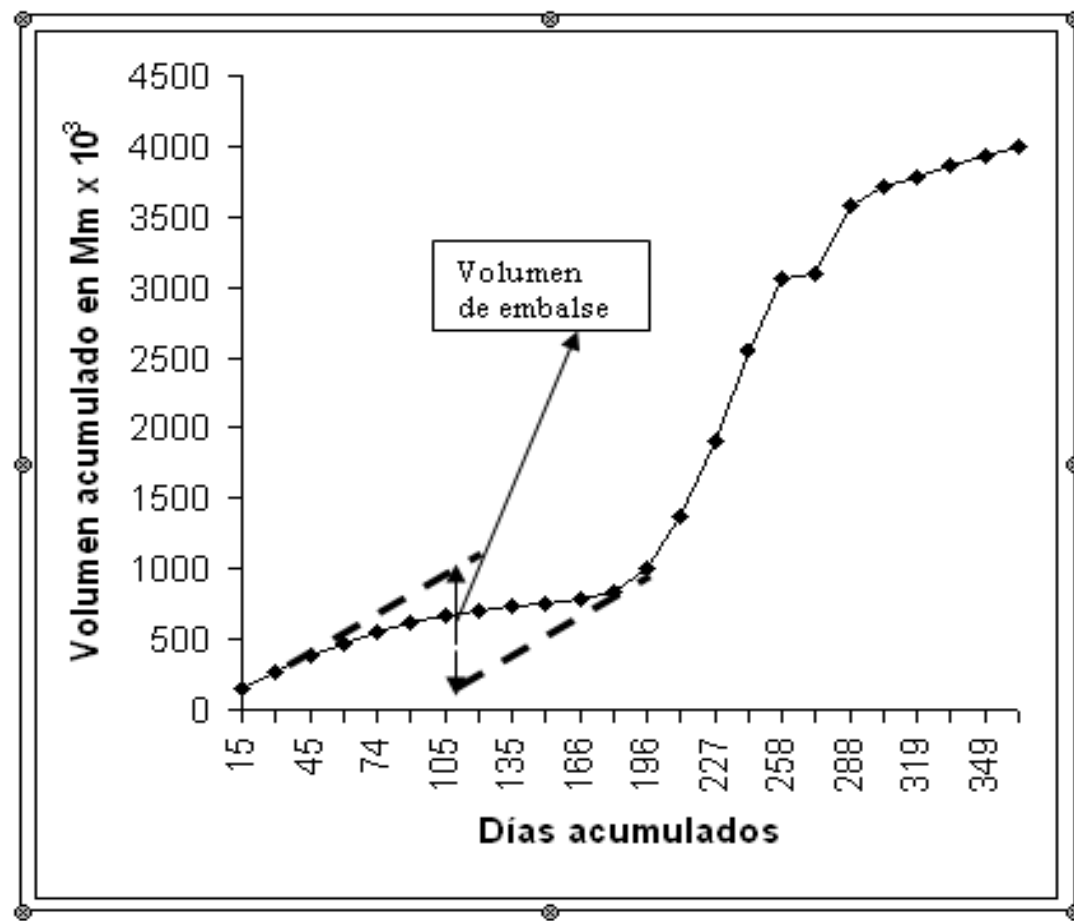
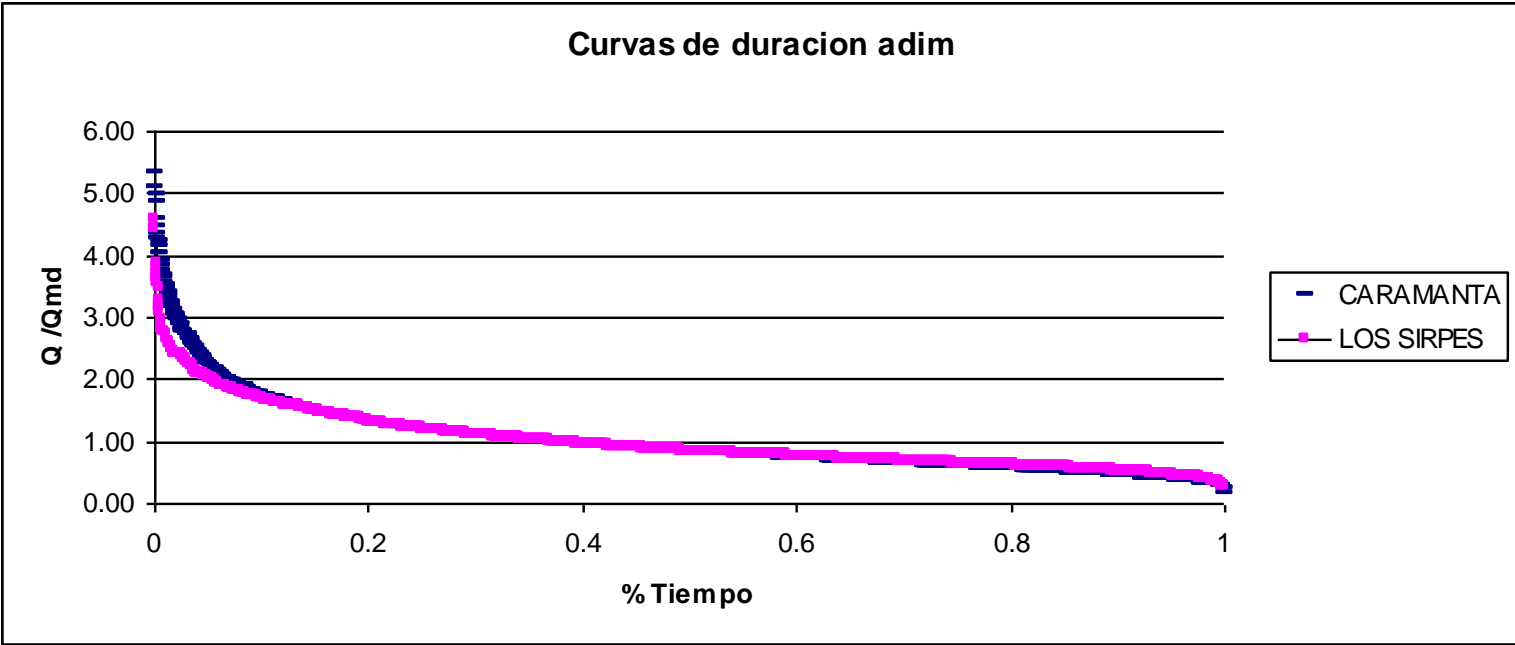


FIGURA 7.16 Curva de masas, ejemplo 7.4

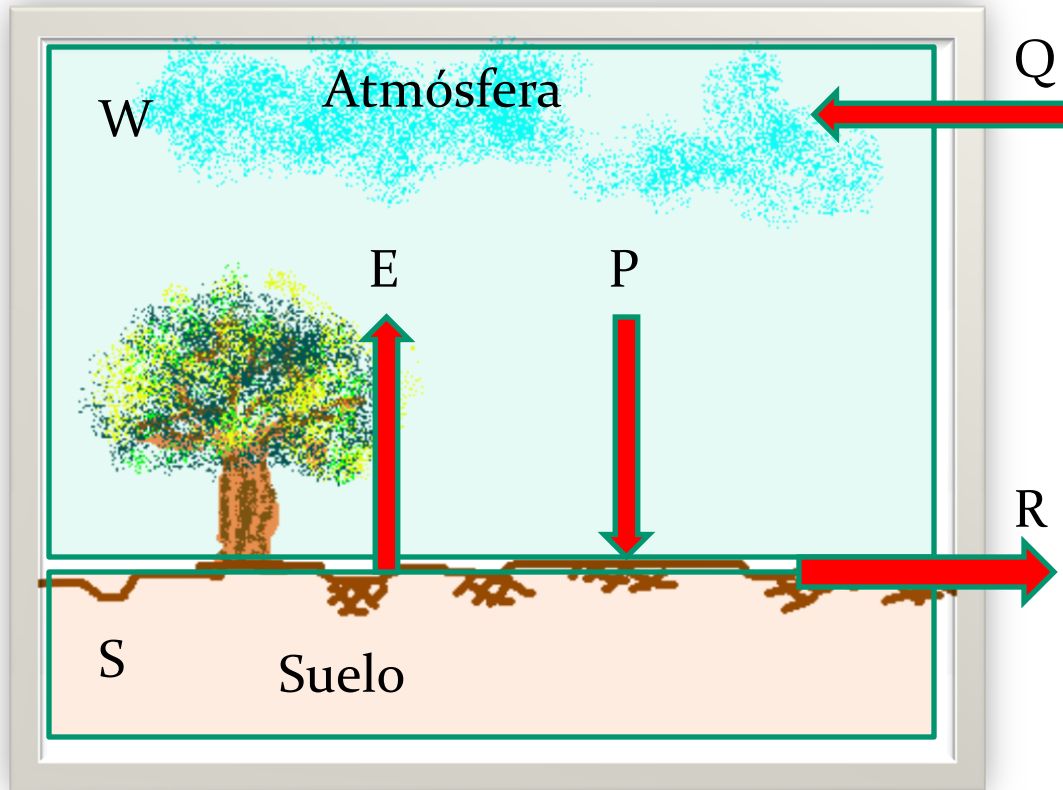
Curvas de duración Valle de San Nicolás



OFERTA HÍDRICA DE UNA CUENCA

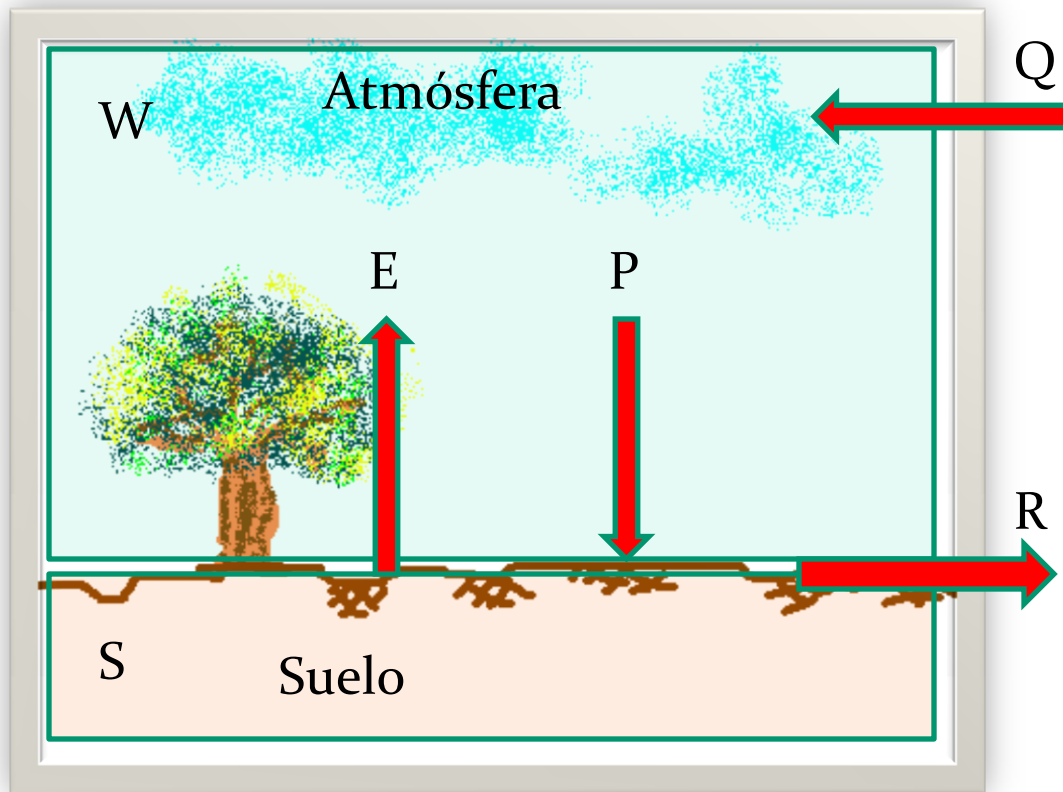
- LA OFERTA HÍDRICA DE UNA CUENCA CORRESPONDE AL CAUDAL MEDIO MULTINUAL DE LA MISMA QUE PUEDE SER ESTIMADO MEDIANTE BALANCE HÍDRICO DE LARGO PLAZO

CAUDALES Y BALANCE HIDROLÓGICO A LARGO PLAZO



- W: almacenamiento de agua en la atmósfera
- S: Almacenamiento de agua en el suelo
- Q: flujo neto de humedad en la atmósfera
- P: precipitación
- E: Evapotranspiración
- R: Escorrentía

BALANCE HIDROLÓGICO A LARGO PLAZO



Para la atmósfera

$$\frac{dW}{dt} = Q + E - P$$

Para el suelo

$$\frac{dS}{dt} = P - E - R$$

Hipótesis de *Largo plazo*

$$\frac{dW}{dt} = 0 \quad \frac{dS}{dt} = 0$$

RESULTADOS

$$R = P - E$$

$$R = Q$$

En el largo plazo (varias décadas) los cambios en las cantidades de agua almacenadas en la atmósfera y el suelo son despreciables.

El promedio a largo plazo de la escorrentía neta debe ser igual a la diferencia entre los promedio a largo plazo de la precipitación y la evapotranspiración.

El promedio a largo plazo del influjo atmosférico neto debe ser igual al promedio de largo plazo de la escorrentía.

Balance hidrológicos de Colombia a largo plazo

