



Universidad Nacional de Misiones

CÁTEDRA DE HIDRÁULICA APLICADA (CI453)

Ing. José A. Serra – Ing. Juan C. Pereira

RECURSOS HÍDRICOS

Oferta / Demanda:



La estimación de los **RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES EN UNA CUENCA**, nos permitirá conocer si la misma es capaz de satisfacer las DEMANDAS PREVISTAS para un proyecto. Esas **demandas hídricas** pueden ser de origen agrícola, urbano o ambas y el valor de las mismas somos capaces de determinar.

La necesidad de construir un **embalse**, se debe al desfase temporal que se produce entre la disponibilidad de esos recursos y los requerimientos de la demanda.

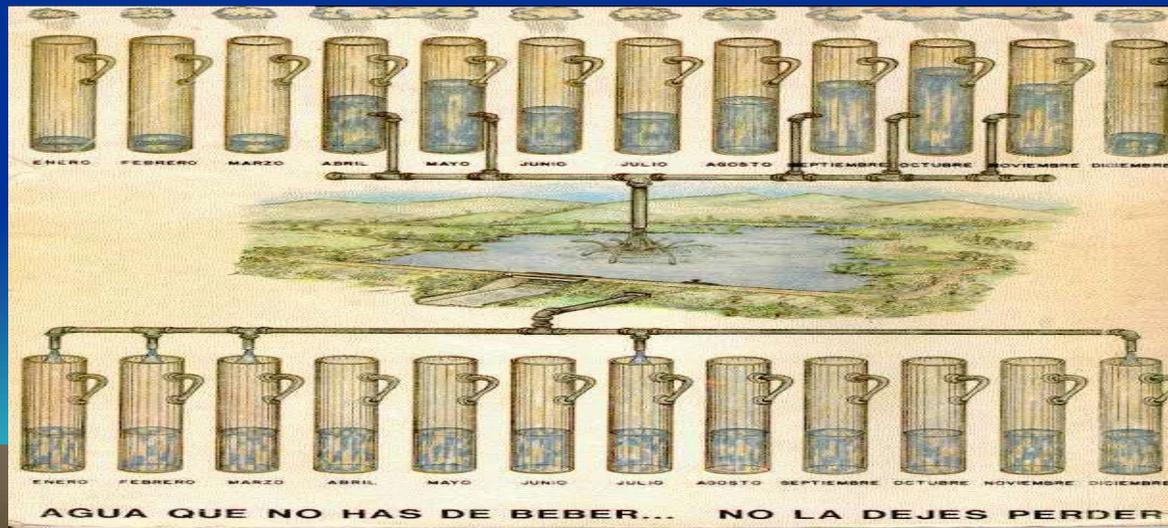
Embalse:

CAPACIDAD ÓPTIMA DEL EMBALSE



Queda determinada por la **distribución temporal** de los recursos y las demandas y se estimará mediante el balance hídrico de dichas magnitudes.

Otra consideración importante es la **variabilidad** que presentan los recursos hídricos anuales, producto de la variabilidad de las precipitaciones que los generan.



ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS



POSEO DATOS DE AFOROS??

NO



DEBO RECURRIR
A MODELOS
HIDROMETEOROLÓGICOS

SI



ESTUDIO DE
LA SERIE DE
AFOROS
(HIDROLÓGICO)



ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

SI



**POSEO DATOS DE
AFOROS!!!!!!!**

LA ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS TOTALES EN UNA CUENCA NO OFRECE DIFICULTAD AL DISPONER DE **DATOS DE AFORO**, ESO DE CONTAR CON UNA SERIE LO SUFICIENTEMENTE LARGA DE 20 A 30 AÑOS DE REGISTROS.

* (EN CUENCAS PEQUEÑAS ES POCO FRECUENTE DISPONER DE DATOS)



ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

OTRA SITUACIÓN FAVORABLE ES LA DE DISPONER DE DATOS DE AFORO EN EL MISMO CAUCE DONDE SE HA PROYECTADO UN EMBALSE, PERO EN LOCALIZACIONES DISTANTES O EN **CUENCAS PRÓXIMAS.**

EN ESTAS CIRCUNSTANCIAS, SIEMPRE QUE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y LOS USOS Y APROVECHAMIENTOS DEL SUELO SEAN SEMEJANTES A LOS DE NUESTRA CUENCA , PODREMOS CALCULAR **COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA ANUALES Y MENSUALES K_t** , A PARTIR DE DATOS DE PRECIPITACIÓN Y LOS AFOROS REGISTRADOS. ESTOS COEFICIENTES SE PUEDEN APLICAR A NUESTRA CUENCA CON EL FIN DE, A PARTIR DE LAS PRECIPITACIONES REGISTRADAS EN LA MISMA, ESTIMAR LAS **ESCORRENTIAS ANUALES Y MENSUALES.**



EN TODO APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE
UN CURSO DE AGUA SE DEBEN ESTABLECER
LAS DOS MAGNITUDES FUNDAMENTALES:

Q y Hu

Q = Caudal → Función

ESTUDIOS HIDROLÓGICOS
(Aforos Líquidos y Sólidos)

Hu = Altura Útil → Función

ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS
ESTUDIOS GEOLÓGICOS
ESTUDIOS HIDRÁULICOS

ESTUDIOS ECONÓMICOS



ESTUDIO HIDROLÓGICO DE UN CURSO DE AGUA EN VISTA DE SU APROVECHAMIENTO

- ESTABLECIDO YA EL SALTO QUE SE HA DE APROVECHAR EN NUESTRA INSTALACIÓN, QUEDA POR DETERMINAR EL CAUDAL **Q**, QUE POR OTRA PARTE PERMITIRÁ ESTABLECER LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA QUE DESCONTADAS DE LA CAIDA BRUTA DARA LA ALTURA ÚTIL **Hu**.

$$H_u = H_t - (kQ^2/2g)$$

- EL CAUDAL **Q** HABRÁ DE ESTABLECERSE EN BASE A OBSERVACIONES DIRECTAS DEL RÍO EFECTUADAS EN UN LARGO PERÍODO DE TIEMPO, PREFERIBLEMENTE MAYOR A 20-30 AÑOS. AFORANDO TANTO LÍQUIDO COMO SÓLIDO.



ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

Al igual que los registros pluviométricos, los **registros de caudales** deben ser **analizados en su consistencia** antes de utilizarlos en cualquier estudio.

Las **inconsistencias** pueden deberse a uno o más de los siguientes fenómenos: cambio en el método de recolección de la información, cambio en la ubicación de la sección de aforo, cambio en el almacenamiento superficial, cambio en el uso del agua en la cuenca, cambio en la transcripción de datos, etc.

Estas **inconsistencias** pueden detectarse mediante curvas doble acumuladas, en forma similar al caso de precipitaciones. En otras ocasiones, para construir el patrón se convierten los caudales en magnitudes que sean comparables (gastos por unidad de área, escorrentía en mm o en porcentaje del gasto medio).



ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

La curva doble acumulada no debe utilizarse para corregir datos de caudales. La corrección o ajuste debe hacerse analizando las posibles causas de la inconsistencia. Si el quiebre se debe a datos traducidos con una curva de descarga mal calculada, una retraducción de la información puede eliminar el quiebre. Si la inconsistencia se debe a extracciones hacia otras cuencas aguas arriba de la sección en estudio, el agregar los caudales extraídos puede solucionar el problema.

Si una inconsistencia bastante significativa se debe a cambios considerables en el uso de la tierra, se recomienda utilizar solamente los registros que representan las condiciones actuales y extenderlos en base a correlaciones.



ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

Los **registros de caudales recopilados**, de los aforos realizados durante un largo período, forman un conjunto de datos que es necesario **analizar y clasificar**.

Algunos valores representativos son:

Caudales promedios diarios:

- En época de caudales estables, solo es necesario determinar el caudal (m^3/s) una o dos veces al día, siempre a la misma hora. Este valor o su promedio es considerado el caudal medio diario.
- En época de variación de caudales es necesario determinar el caudal tres veces al día (Ej: 7hs – 12hs – 17hs) a fin de obtener el caudal medio diario (promediando).



ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

- Cuando se dispone de **lecturas limnimétricas horarias**, se utilizan 24 valores para calcular la media del caudal promedio diario.

Caudales promedios mensuales:

son calculados tomando la media aritmética, del caudal diario registrado en el mes considerado.

Caudales promedios anuales o módulos:

se calcula tomando la media aritmética, de los caudales correspondientes a los 12 meses del año.



CURVAS Y VALORES REPRESENTATIVOS

La información recolectada acerca del comportamiento de los ríos, puede analizarse tanto estadística como gráficamente, con lo que se facilita su comprensión y análisis. Algunas de las curvas y valores representativos de los caudales son:

1- CURVA DE CAUDALES O GASTOS CRONOLÓGICOS;

2- CONCEPTO DE CAUDAL MÓDULO (Q_m);

3- CURVA DE RÉGIMEN MEDIO;

4- DIAGRAMA DE FRECUENCIA DE CAUDALES;

5- CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES (FREC. ACUMULADA)



CURVAS Y VALORES REPRESENTATIVOS

6- VALORES DE CAUDALES REPRESENTATIVOS:

- Caudal Máximo Absoluto;
- Caudal Mínimo Absoluto;
- Caudal Máximo Característico;
- Caudal Mínimo Característico;
- Caudal Semipermanente;
- Otros.

7- CURVA DE VOLÚMENES ACUMULADOS (CURVA DE MASA O DIAGRAMA DE RIPPL);

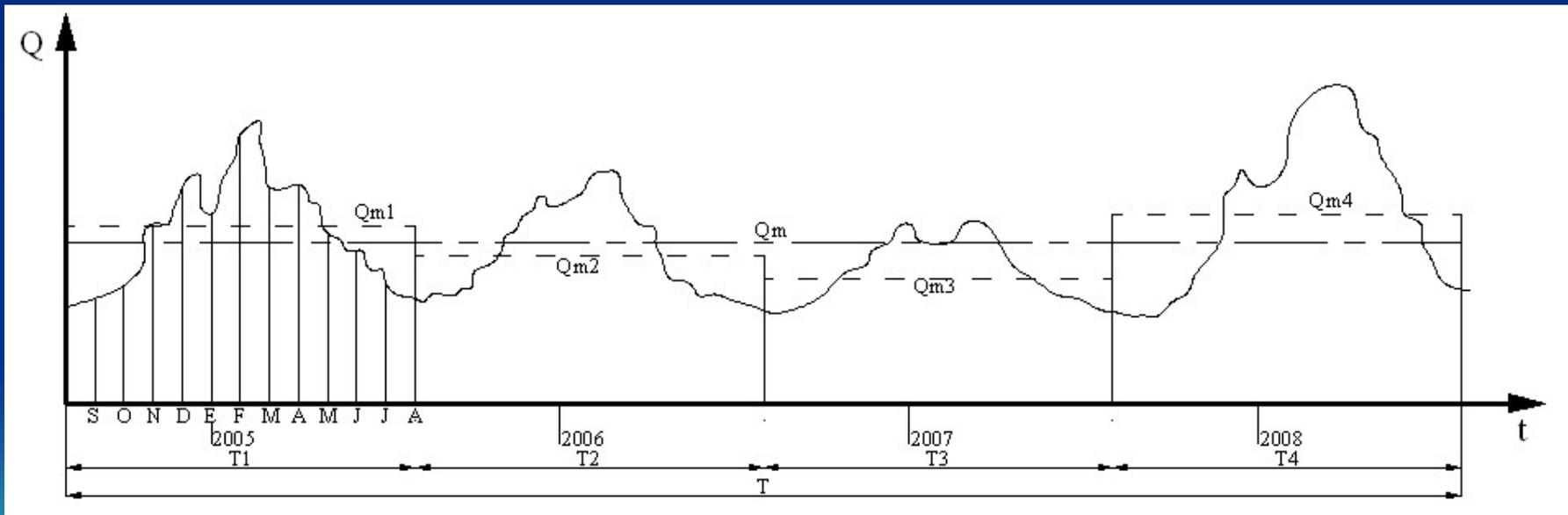
8- CURVA DE Δ VOLÚMENES ABATIDA Y RADIACIÓN DE GASTOS;

9- CAPACIDAD REGULADORA (TOTAL O PARCIAL);

10- COEFICIENTE DE IRREGULARIDAD DEL CURSO

1- CURVA DE GASTOS CRONOLÓGICOS

- Se representan los Q (m^3/s) diarios en ordenadas y el tiempo (días) en abscisas. La curva comienza en el día de menor caudal del estiaje del río (comienzo del AÑO HIDROLÓGICO):



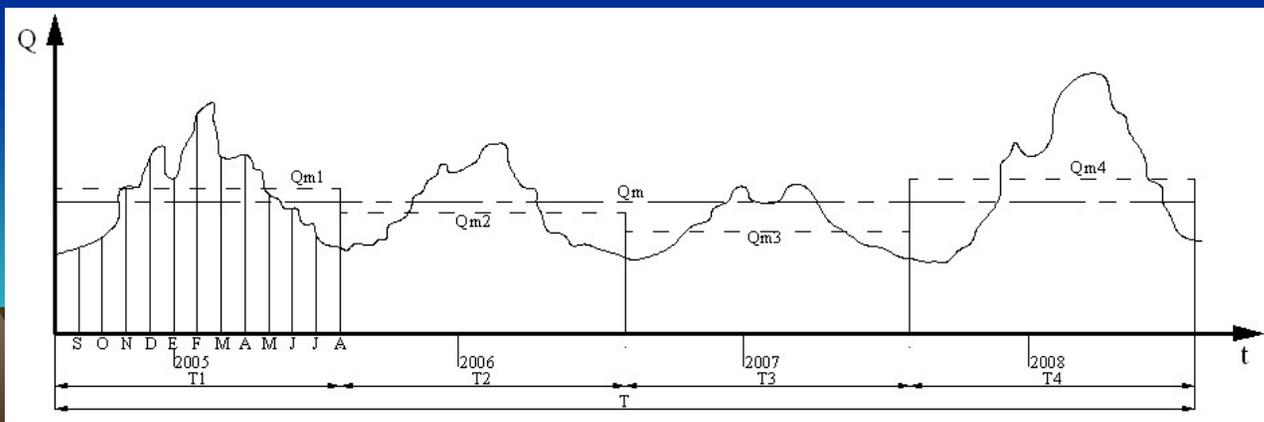
2- CAUDAL MÓDULO

- Se denominan *Módulos Anuales o Parciales* a los caudales medios de los períodos anuales.
- Se denomina *Caudal Módulo del Río* al valor medio del caudal en todo el período considerado.

$$Qm_1 = \frac{\int_0^{T1} Qi \cdot dt}{T1} \Rightarrow \text{MÓDULO DEL PERÍODO T1}$$

$$Qm_2 = \frac{\int_{T1}^{T2} Qi \cdot dt}{T2} \Rightarrow \text{MÓDULO DEL PERÍODO T2}$$

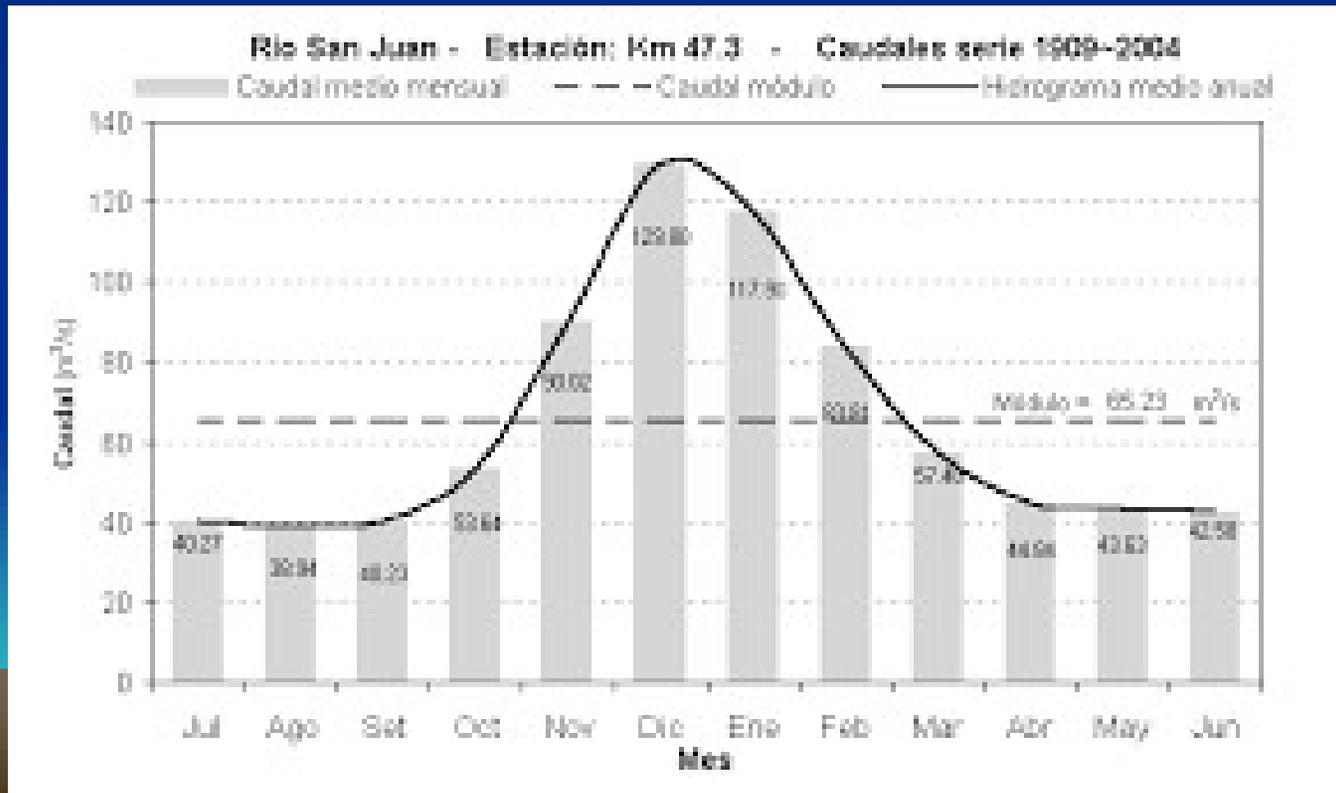
$$Qm = \frac{\int_0^T Qi \cdot dt}{T} \Rightarrow \text{MÓDULO DEL PERÍODO T}$$



3- CURVA DE RÉGIMEN MEDIO

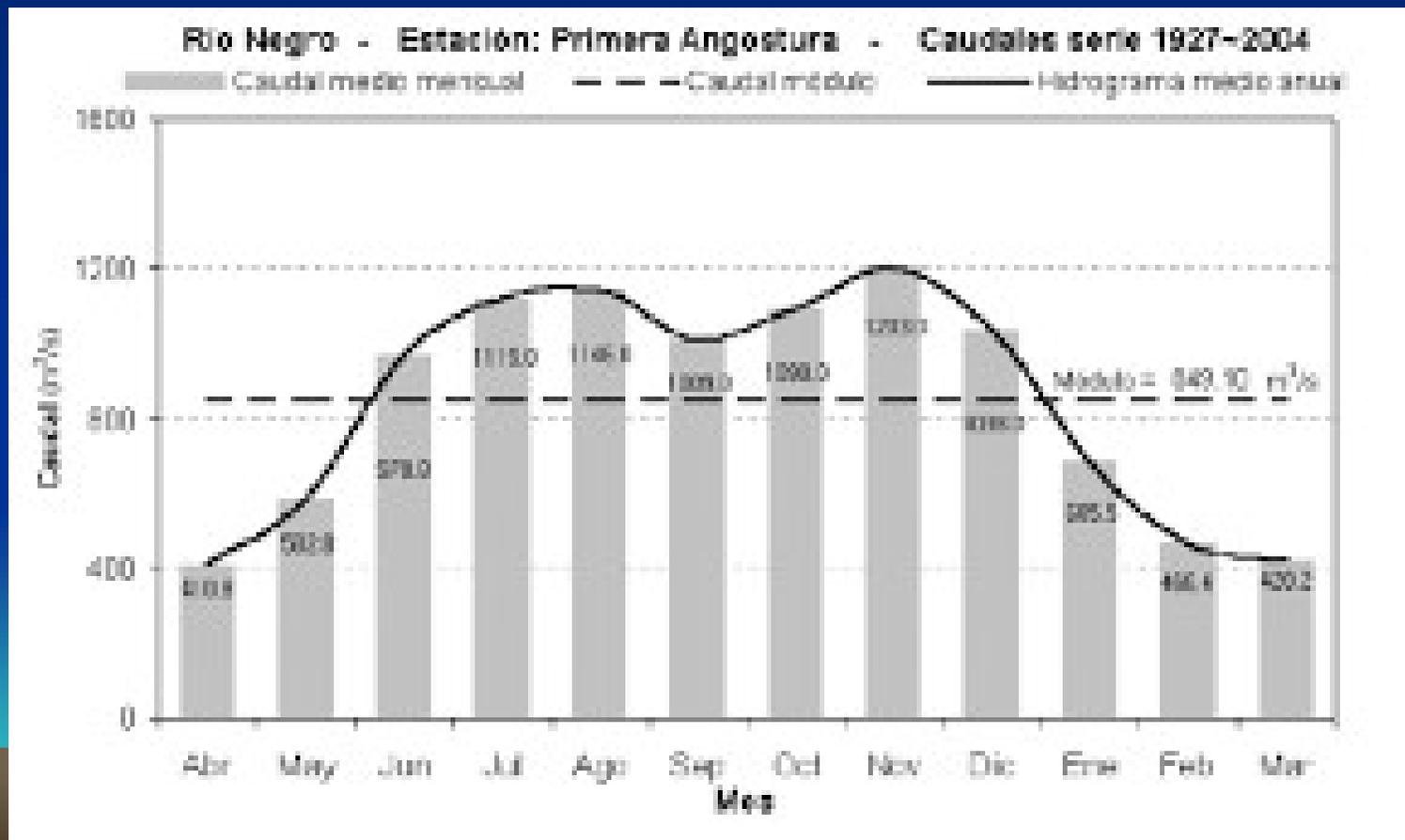
Se representan los Q (m^3/s) medios en ordenadas y el tiempo (meses) en abscisas. La curva comienza en el día de menor caudal del estiaje del río (comienzo del AÑO HIDROLÓGICO):

- **CURVA DE RÉGIMEN SIMPLE:** Un solo máximo y un solo mínimo anual con preponderancia de un único tipo de alimentación, pluvial o glaciar.



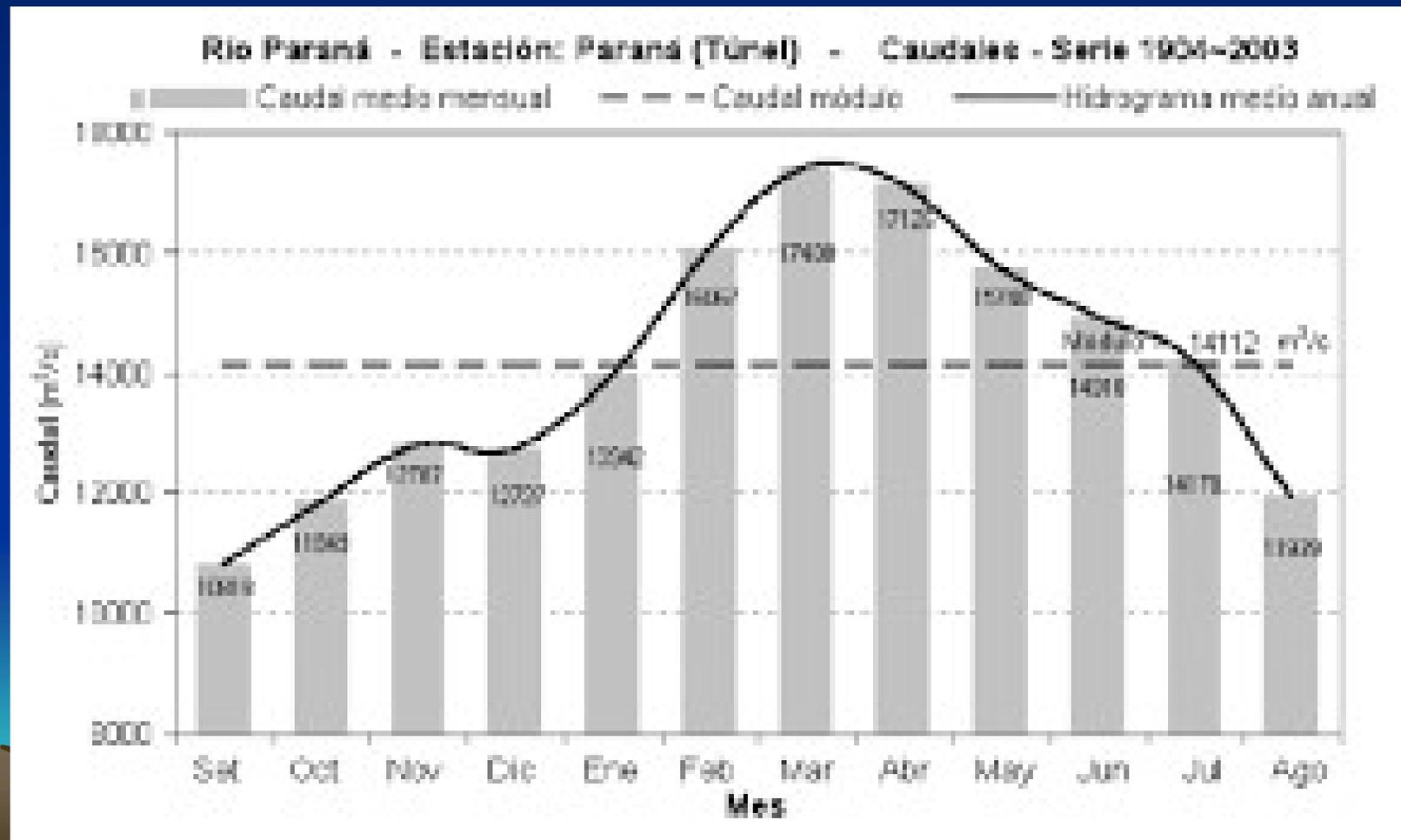
3- CURVA DE RÉGIMEN MEDIO

- CURVA DE RÉGIMEN MIXTO: Presentan generalmente dos máximos y dos mínimos anuales (o un máximo pero debido a dos causales que ocurren contemporáneamente), alimentación, nivo-pluvial y nivo-glaciar.*



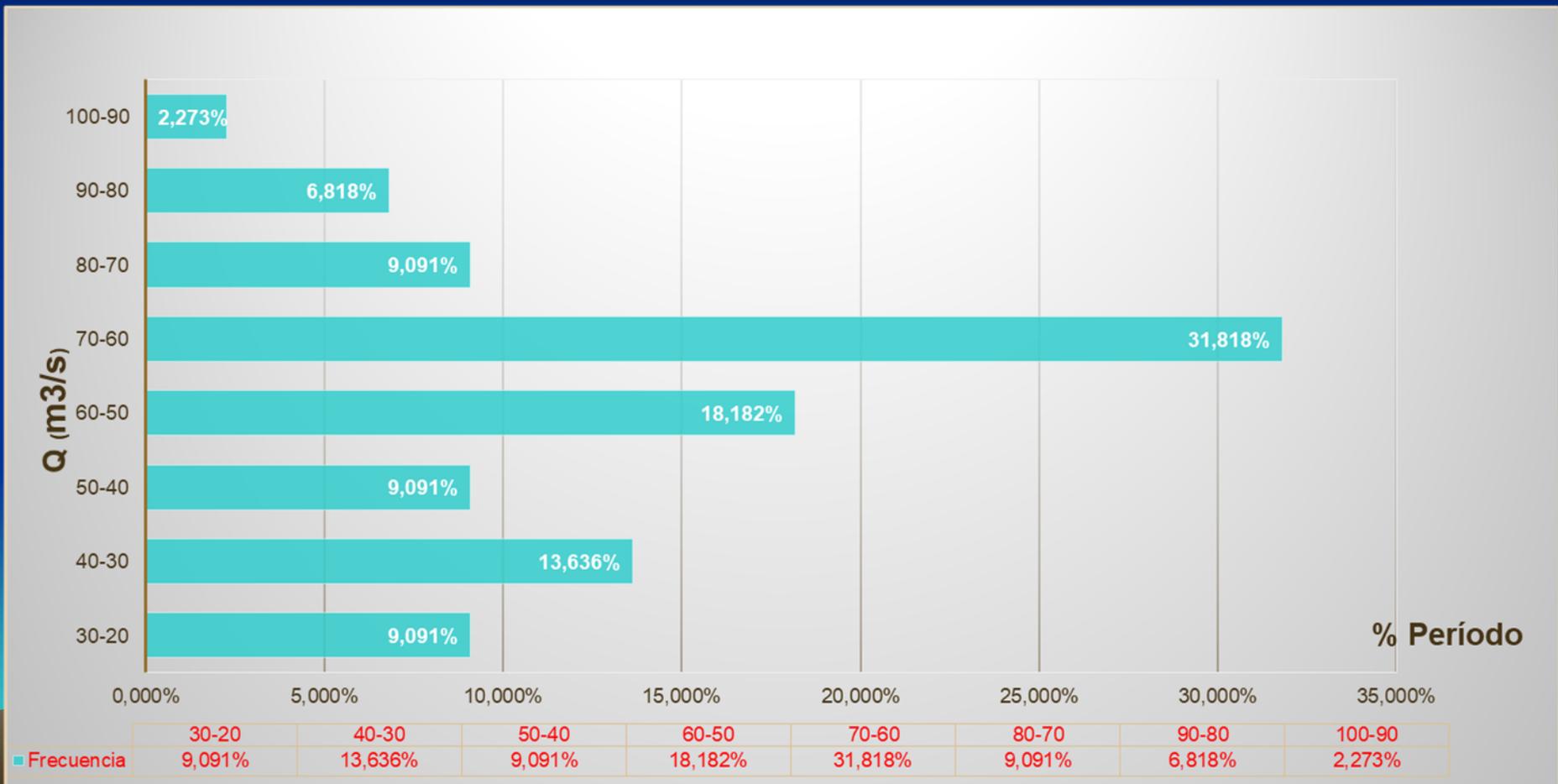
3- CURVA DE RÉGIMEN MEDIO

- *CURVA DE RÉGIMEN COMPLEJO: Tiene combinación de causas diferentes que se producen en cuencas de drenaje muy extensas, características solo de los GRANDES RÍOS.*



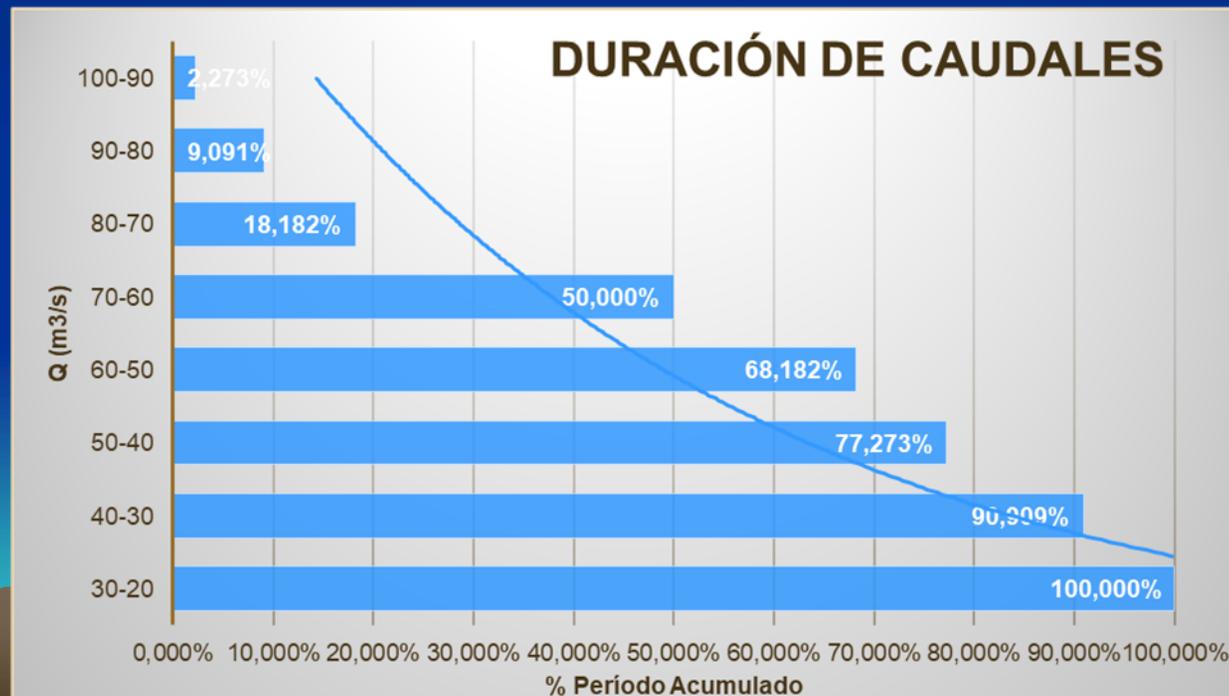
4- DIAGRAMA DE FRECUENCIA DE CAUDALES

- *Clasificando los caudales diarios por orden de magnitud y calculando el porcentaje en que cada magnitud interviene en el total del período, se obtienen la curva de frecuencia.*



5- CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES O GASTOS (PERMANENCIA)

- *A partir de el digrama de frecuencias acumuladas, se ordenan los valores de las ordenadas de mayor a menor rango y se acumulan las frecuencias.*
- **La curva de duración tiene la propiedad de establecer el porcentaje del período considerado en que un gasto dado se mantiene igual o superior a dicho valor.**



5- CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES O GASTOS (PERMANENCIA)

- La curva de duración llamada también curva de persistencia, o curva de permanencia de caudales, es una distribución de frecuencia acumulada que indica el porcentaje del tiempo durante el cual los caudales han sido igualados o excedidos.
- Este tipo de curvas permite combinar en una sola figura las características fluviométricas de un río en todo su rango de caudales independientemente de su secuencia de ocurrencia en el tiempo.
- Las curvas de duración permiten estudiar las características fluviométricas de los ríos y comparar diferentes cuencas.



5- CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES O GASTOS (PERMANENCIA)

USOS DE LA CURVA

- La curva de duración resulta del análisis de frecuencias de la serie histórica de caudales medios diarios en el sitio de captación de un proyecto de suministro de agua. Se estima que si la serie histórica es suficientemente buena, **la curva de duración es representativa del régimen de caudales medios de la corriente y por lo tanto puede utilizarse para pronosticar el comportamiento del régimen futuro de caudales, o sea el régimen que se presentará durante la vida útil de la captación.**



5- CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES O GASTOS (PERMANENCIA)

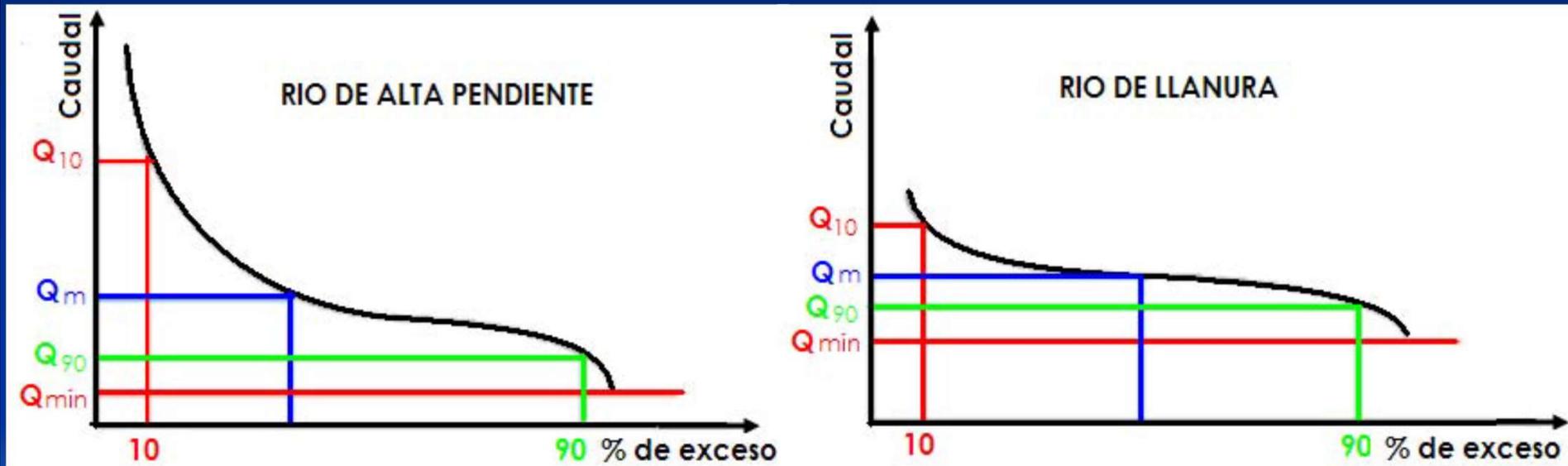
FORMAS DE LA CURVA

- Las curvas de duración tienen **formas típicas** que dependen de las características de las cuencas vertientes. En cuencas de montaña, por ejemplo, la pendiente pronunciada en el tramo inicial de la curva indica que los caudales altos se presentan durante períodos cortos, mientras que en los ríos de llanura no existen diferencias muy notables en las pendientes de los diferentes tramos de la curva. Este hecho es útil para ajustar la forma de la curva de duración según las características de la cuenca cuando la serie de caudales medios es deficiente, o para transponer una curva de duración de una cuenca bien instrumentada de la misma región a la cuenca que tiene información escasa.



5- CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES O GASTOS (PERMANENCIA)

FORMAS DE LA CURVA

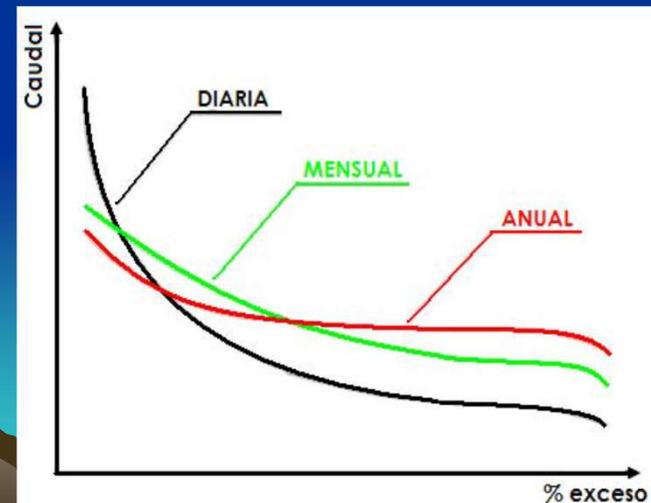


5- CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES O GASTOS (PERMANENCIA)

- El caudal mínimo probable de la curva es el caudal que la corriente puede suministrar durante todo el año con una probabilidad de excedencia próxima al 100%.
- **Si este caudal es mayor que la demanda del proyecto, entonces la fuente tiene capacidad para abastecer la demanda sin necesidad de almacenamiento.**
- En los estudios que se realizan en cuencas pequeñas las variaciones diarias del caudal son importantes. Por esta razón los análisis se hacen con base en la curva de duración de caudales diarios. Cuando la información hidrológica es escasa la serie histórica de los caudales medios diarios no existe, o si existe no es suficientemente confiable. En tal caso la curva de duración de caudales diarios no puede determinarse por métodos matemáticos, pero pueden hacerse estimativos utilizando relaciones empíricas entre lluvias y caudales. Estos estimativos pueden ocasionar sobrediseño de las obras.

5- CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES O GASTOS (PERMANENCIA)

- La experiencia ha demostrado que las regresiones lluvia - caudal son aceptables para valores anuales, pero resultan deficientes cuando se utilizan con valores mensuales o diarios. Por esta razón, lo recomendable es generar una serie de caudales medios anuales a partir de las lluvias anuales y luego, a partir de los caudales anuales estimar la serie de caudales medios mensuales; en este caso no se pueden estimar los caudales diarios. Sin embargo, se pueden dibujar las curvas de duración de los caudales medios anuales y medios mensuales y con base en ellas deducir aproximadamente una curva estimada de caudales medios diarios, como se observa en la Figura:



5- CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES O GASTOS (PERMANENCIA)

EN RESUMEN

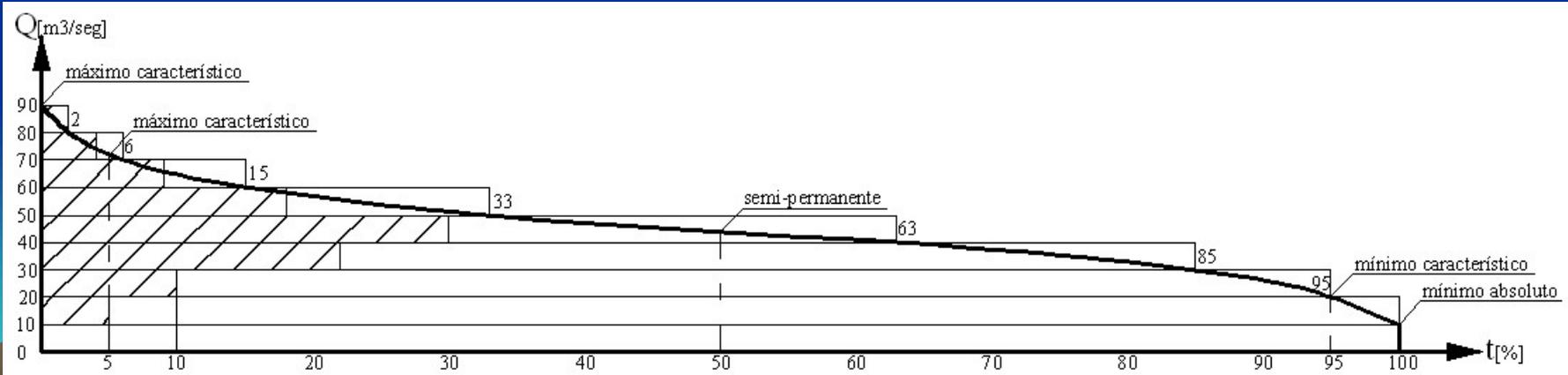
- La curva de duración es muy útil para determinar si una fuente es suficiente para suministrar la demanda o si hay necesidad de construir embalses de almacenamiento para suplir las deficiencias en el suministro normal de agua durante los períodos secos.
- De la curva de duración se obtiene información referente al porcentaje de tiempo en que un valor es excedido, la cual es utilizada para el diseño de obras de toma.



6- VALORES DE CAUDALES REPRESENTATIVOS

DE LA CURVA PODEMOS OBTENER CIERTOS VALORES

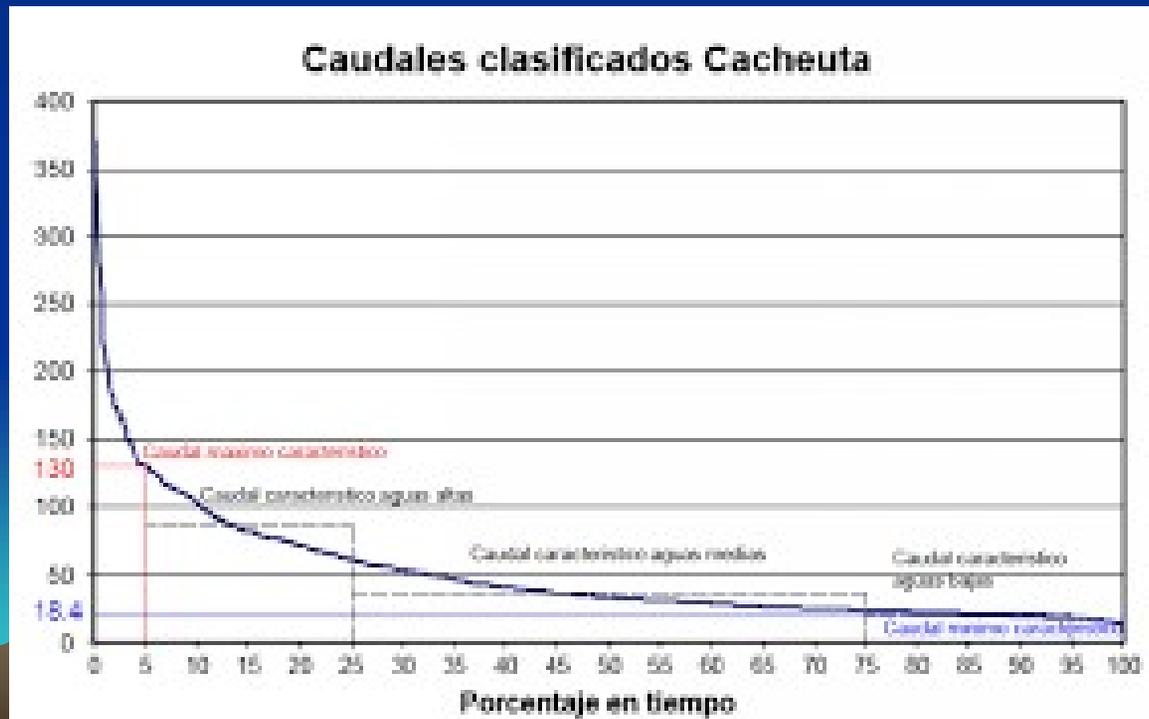
- Gasto Máximo Absoluto (0%);
- Gasto Máximo Característico (5%);
- Gasto Semipermanente (50%);
- Gasto Mínimo Característico (95%);
- Gasto Mínimo Absoluto (100%)



6- VALORES DE CAUDALES REPRESENTATIVOS

DE LA CURVA PODEMOS OBTENER CIERTOS VALORES

- Gasto Caract. de Aguas Altas (5%-25%);
- Gasto Caract. de Aguas Medias (25%-75%);
- Gasto Caract. de Aguas Bajas (75%-95%);



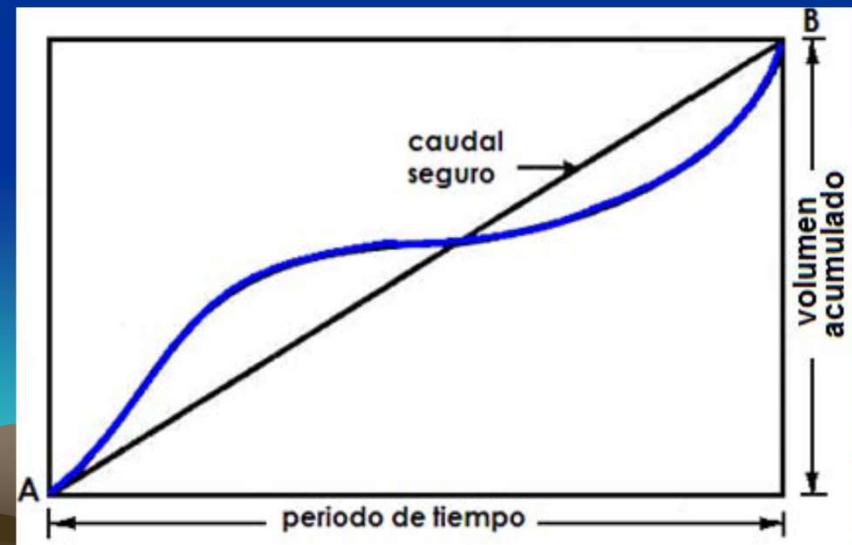
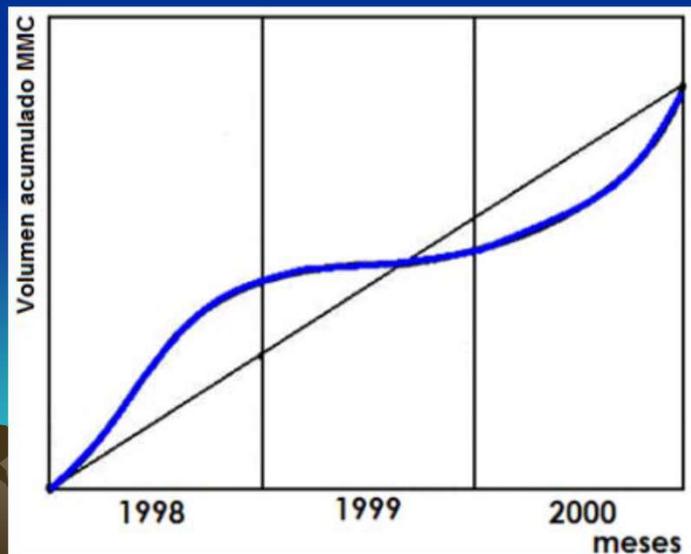
$$Q_{alt} = \frac{\int_5^{25} Q_i \cdot dt}{20}$$

$$Q_{med} = \frac{\int_{25}^{75} Q_i \cdot dt}{50}$$

$$Q_{baj} = \frac{\int_{75}^{95} Q_i \cdot dt}{20}$$

7- CURVA DE VOLÚMENES ACUMULADOS (DIAGRAMA DE RIPPL)

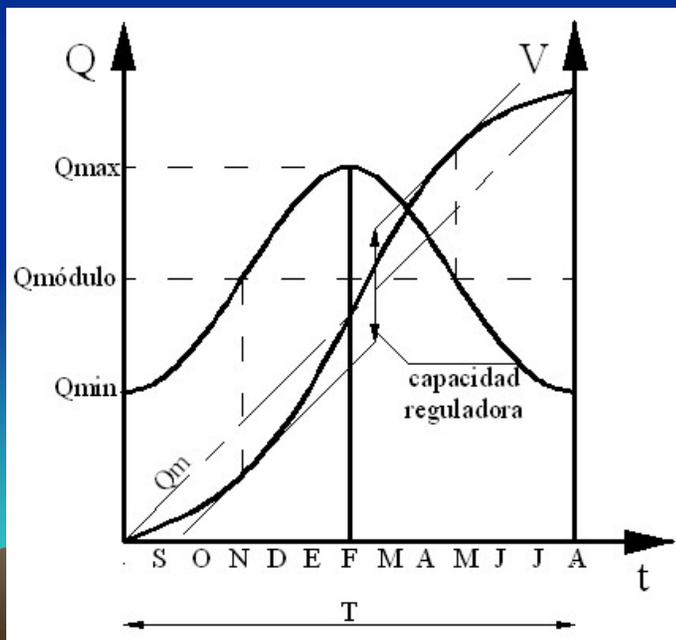
- La curva masa, llamada también curva de volúmenes acumulados o diagrama de Rippl, es una curva que se usa en el estudio de regularización de los ríos por medio de embalses.
- Se representan los V (m^3 o Hm^3) en ordenadas y el tiempo en abscisas.
- **Proporciona el volumen acumulado**, que ha escurrido en una estación en función del tiempo a partir de un origen arbitrario. Por ello la curva masa es siempre creciente. **Los tramos horizontales o casi horizontales correspondientes a los meses secos.**



7- CURVA DE VOLÚMENES ACUMULADOS (DIAGRAMA DE RIPPL)

PROPIEDADES DE LA CURVA

- 1.- La curva masa es siempre creciente, pues el agua que escurre en un río, se añade a la suma de los períodos anteriores.
- 2.- La tangente en cualquier punto de la curva masa, proporciona el caudal instantáneo en ese punto.



$$Q_m = \frac{\int_0^T Q_i \cdot dt}{T} \Rightarrow \text{MÓDULO DEL PERÍODO T}$$

$$V = \int_0^T Q_i \cdot dt \Rightarrow \text{VOLUMEN DEL PERÍODO T}$$

$$\frac{dV}{dt} = Q_i \Rightarrow \text{CAUDAL INSTANTANEO}$$

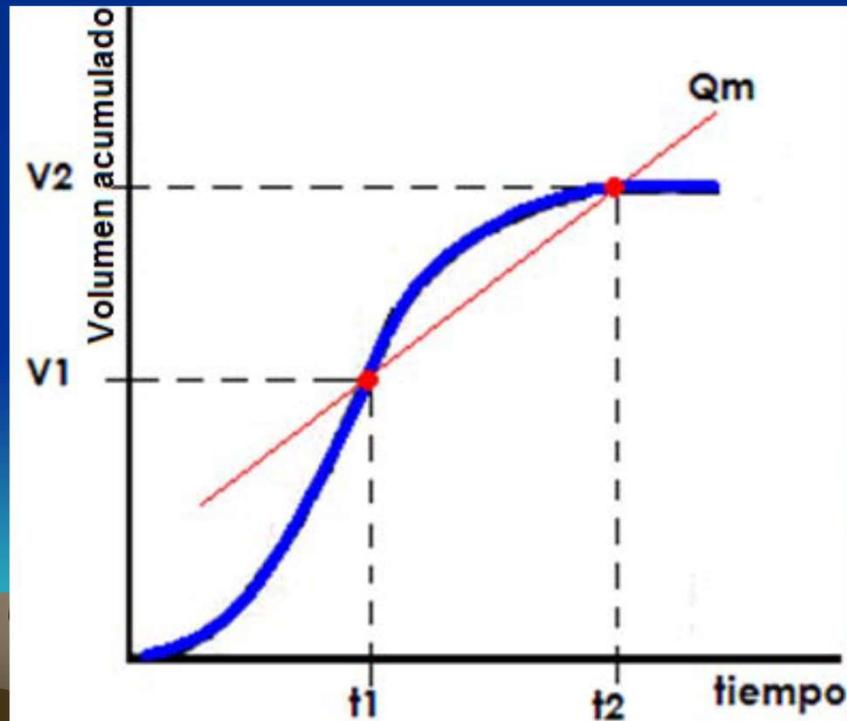
7- CURVA DE VOLÚMENES ACUMULADOS (DIAGRAMA DE RIPPL)

PROPIEDADES DE LA CURVA

3.- El caudal promedio (Q_m), para un período de tiempo , se obtiene de la pendiente de la recta, que une los puntos de la curva masa, para ese período de tiempo, o lo que es lo mismo, de la división del incremento del volumen, entre el período de tiempo, es decir:

$$Q_m = \frac{\int_0^T Q_i \cdot dt}{T} \Rightarrow$$

$$Q_m = \frac{V_2 - V_1}{T_2 - T_1}$$



7- CURVA DE VOLÚMENES ACUMULADOS (DIAGRAMA DE RIPPL)

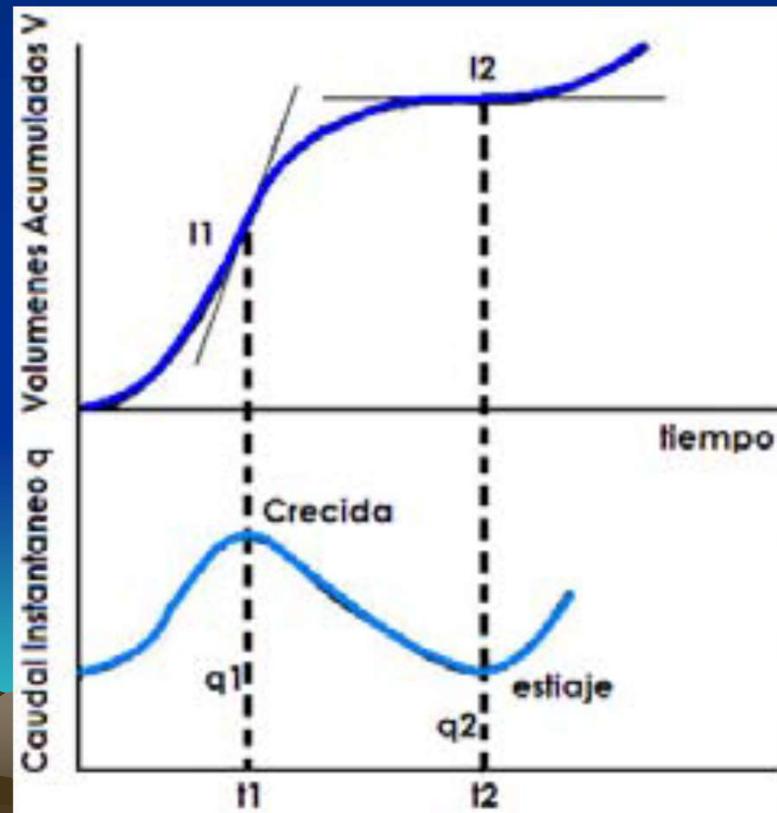
PROPIEDADES DE LA CURVA

4.- Los puntos de inflexión de la curva masa, tales como I1 e I2 de la corresponden respectivamente, a los caudales máximos de crecidas, y mínimos de estiaje, de la curva de caudales instantáneos:

$$\frac{dV}{dt} = Q_i \Rightarrow$$

$$\frac{d^2V}{dt^2} = \frac{dQ}{dt} = 0 \Rightarrow$$

TANGENTE HORIZONTAL
(punto de inflexión de curva)

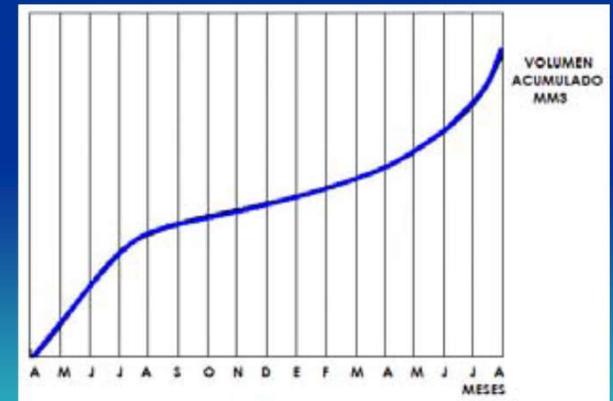


7- CURVA DE VOLÚMENES ACUMULADOS (DIAGRAMA DE RIPPL)

CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE MASA

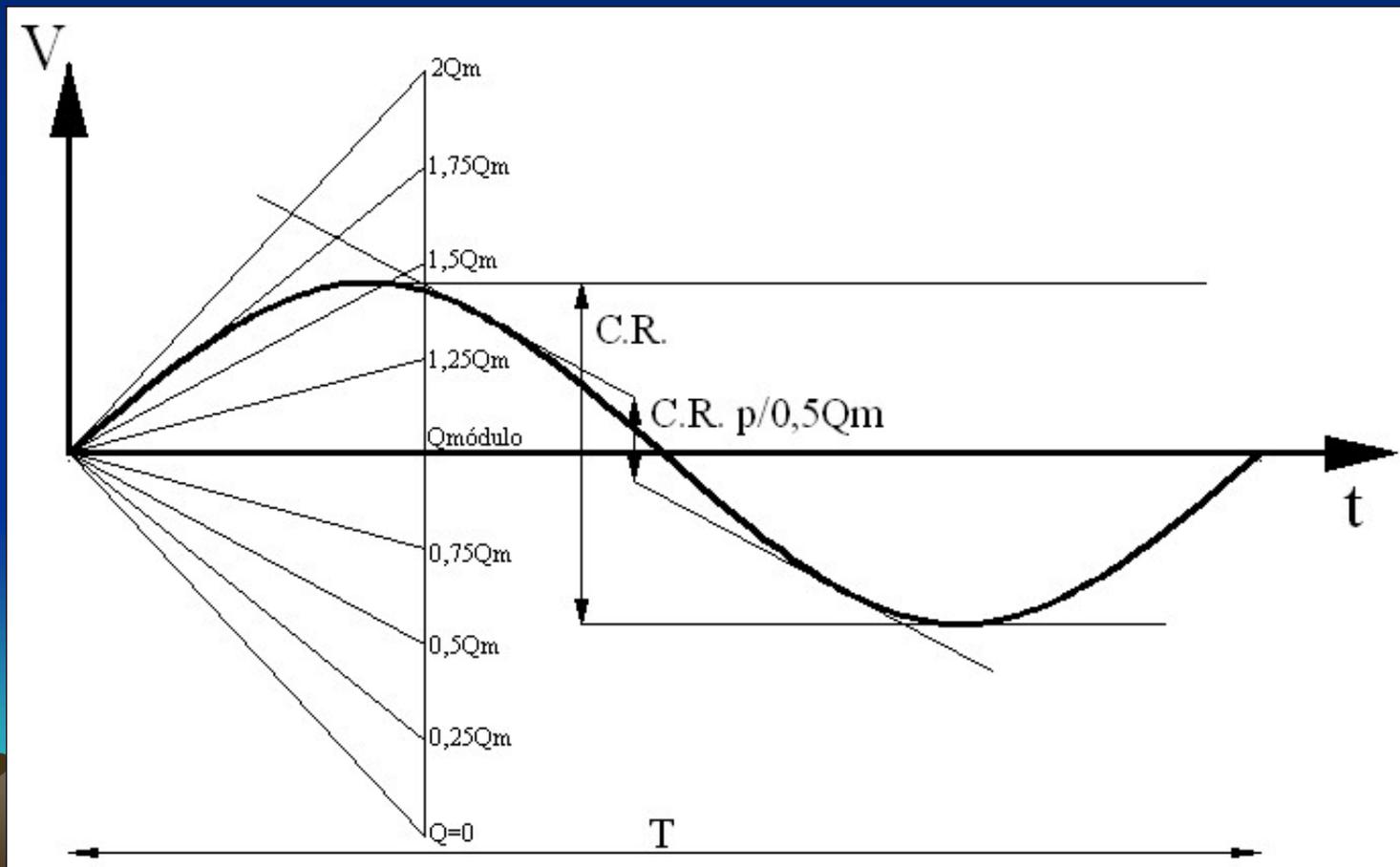
- 1.- Transformar los caudales Q , en m^3/s , a volúmenes V , por lo general expresado en Hm^3 ($1 \times 10^6 m^3$);
- 2.- Acumular los volúmenes y obtener la columna de volúmenes acumulados;
- 3.- Graficar en las abscisas los meses y en las ordenadas la columna de volúmenes acumulados.

$$V(Hm^3) = Q \cdot T = \frac{m^3}{s} \cdot * \text{días} \left(\frac{24hs}{1\text{día}} \cdot \frac{3600s}{1hs} \cdot \frac{Hm^3}{1 \cdot 10^6 m^3} \right) \Rightarrow$$



8- CURVA DE Δ VOLUMENES ABATIDA Y RADIACIÓN DE GASTOS

Dado que la curva de volúmenes acumulados presenta dificultad para largos períodos de tiempo, es que la misma se abate hacia el eje de las abscisas, representando este último el caudal módulo.



8- CURVA DE Δ VOLUMENES ABATIDA Y RADIACIÓN DE GASTOS

COMO SE CONSTRUYE

1 DEBO HACER COINCIDIR EN EL EJE DE ABSCISAS LA RECTA DE Q_m (ANTES FORMANDO UN ANGULO ALFA CON RESPECTO AL EJE);

2 ES POR ELLO QUE EL EJE DE ABSCISAS ANTERIOR, DONDE ERA $Q=0$, QUEDA UN ANGULO ALFA DESFASADO HACIA EL CUADRANTE $(X, -Y)$;

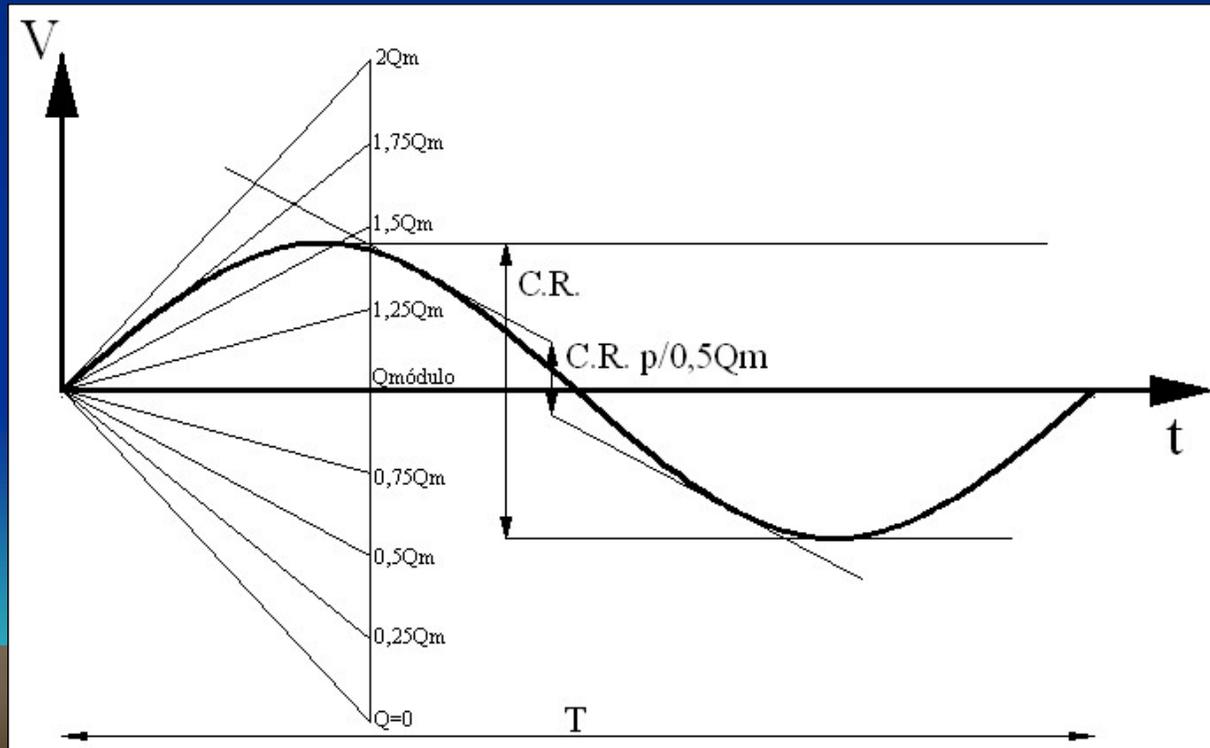
3 PARA HACER LO ESGRIMIDO ANTERIORMENTE, CONSTRUYO UNA PLANILLA DE EXCEL EN DONDE: TENGO LOS VALORES DE LOS V ACUMULADOS, A ESOS LES RESTO LOS VALORES QUE DETERMINAN CUAL ES EL VALOR DEL VOLUMEN EN CADA INSTANTE SI ESTUVIESE ESCURRIENDO EL CAUDAL MÓDULO, ESTO ME DETERMINA CUALES SON LOS Δ VOLUMENES;

4 LOS VALORES POSITIVOS SE GRAFICAN HACIA EL EJE Y +

5 LOS VALORES NEGATIVOS SE GRAFICAN HACIA EL EJE Y -

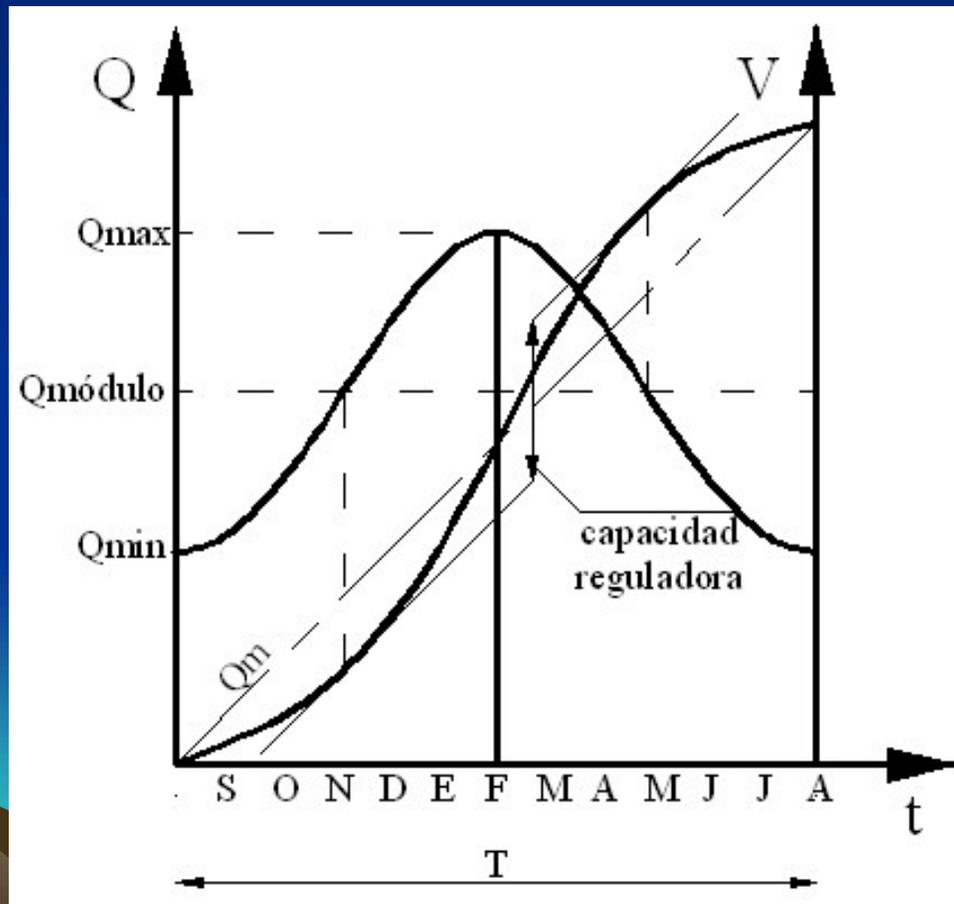
8- CURVA DE Δ VOLUMENES ABATIDA Y RADIACIÓN DE GASTOS

- LA RADIACIÓN DE GASTOS NOS PERMITE CONOCER CUAL SON LAS PENDIENTES DE LAS RECTAS, QUE REPRESENTAN FRACCIONES DEL CAUDAL MÁDULO.



9- CAPACIDAD REGULADORA TOTAL O PARCIAL

- Es el volumen necesario almacenar para poder regularizar los caudales al módulo o a una fracción de este. Almacenando en épocas de exceso para compensar los caudales en épocas de estiaje.



9- CAPACIDAD REGULADORA TOTAL O PARCIAL

Se pueden presentar DOS casos:

- Que se regulen o embalsen, totalmente las agua del río;
- Que esta regulación sea solo parcial, para un determinado volumen.

CAPACIDAD REGULADORA TOTAL

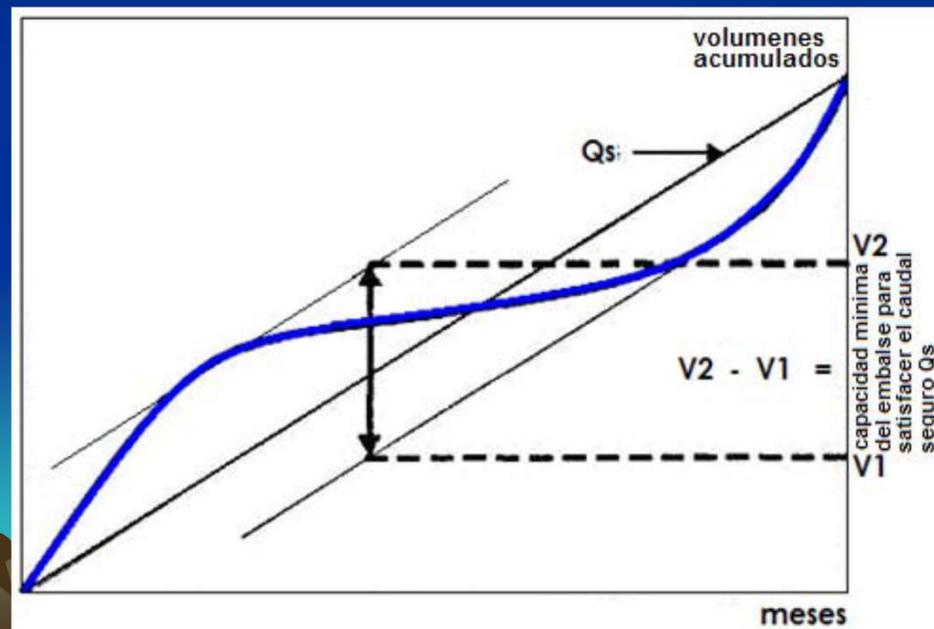
- En este caso, se almacenan todas las aguas para obtener un caudal instantáneo, o de salida constante, llamado caudal módulo o seguro.



9- CAPACIDAD REGULADORA TOTAL O PARCIAL

La capacidad mínima de embalse, que asegure este aporte en cualquier tiempo, se obtiene con el siguiente proceso:

- 1.- Trazar tangentes envolventes de la curva masa, que sean paralelas a la línea de pendiente del caudal módulo.
- 2.- Calcular la mayor distancia vertical, entre dos tangentes consecutivas de los períodos. Esta se mide en la escala del eje de volúmenes acumulados.

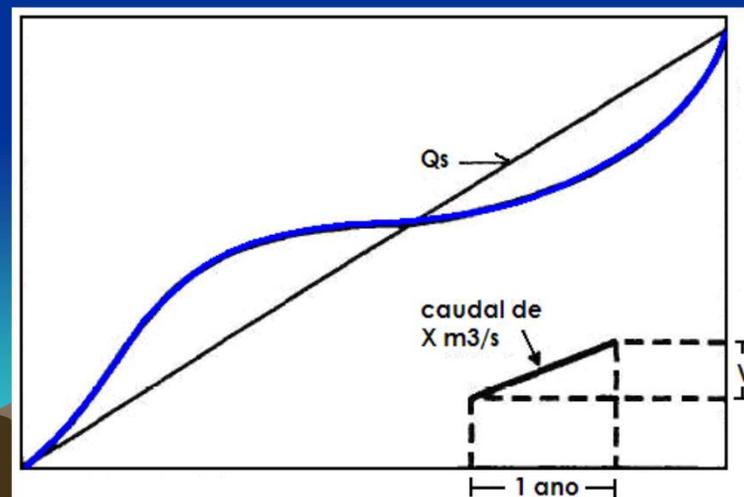


9- CAPACIDAD REGULADORA TOTAL O PARCIAL

CAPACIDAD REGULADORA PARCIAL

En este caso, se almacena un volumen determinado de agua, que asegure un caudal continuo de $X \text{ m}^3/\text{s}$.

Condiciones: Si la pendiente de la curva masa (caudal módulo Q_m), es menor que la pendiente correspondiente al caudal X ($Q_m < X$), hay deficiencia de agua en el río y no se podrá proporcionar el caudal de $X \text{ m}^3/\text{s}$. Si la pendiente de la curva masa, es mayor que la pendiente correspondiente al caudal X ($Q_m > X$), hay exceso de agua en el río, y se puede aportar el caudal de $X \text{ m}^3/\text{s}$.



10- COEFICIENTE DE IRREGULARIDAD DE UN CURSO

- Es la relación entre la capacidad reguladora y el derrame del río:
- $CI = \frac{\text{Capacidad Reguladora } CR}{\text{Volúmen de Derrame del Río}}$
- Los ríos son mas irregulares en zona de montaña que en zona de llanura.



10- COEFICIENTE DE IRREGULARIDAD DE UN CURSO

- MÁXIMO DE IRREGULARIDAD

- $CI = \frac{\text{Capacidad Reguladora } CR}{\text{Volúmen de Derrame del Río}} = \frac{CR}{VD} = 1$

- *Para este caso la CR es igual al Volumen de Derrame.*

- MÁXIMO DE REGULARIDAD

- $CI = \frac{\text{Capacidad Reguladora } CR}{\text{Volúmen de Derrame del Río}} = \frac{CR}{VD} = 0$

- *Para este caso la CR vale 0, porque escurre el módulo.*



ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS



POSEO DATOS DE AFOROS??

NO



DEBO RECURRIR
A MODELOS
HIDROMETEOROLÓGICOS

SI



ESTUDIO DE
LA SERIE DE
AFOROS
(HIDROLÓGICO)



ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

NO



**NO POSEO DATOS DE
AFOROS!!!!!!!**

EN FUNCIÓN A LA CALIDAD DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA DISPONIBLE NOS VEMOS FORZADOS A EMPLEAR MODELOS HIDROMETEOROLÓGICOS DE DISTINTA COMPLEJIDAD. DESDE POR EJ: EL MÉTODO CN DEL SCS EN CASO DE DISPONER DE PRECIPITACIONES DIARIAS A FÓRMULAS EMPÍRICAS CUANDO SOLO DISPONEMOS DE DATOS DE PRECIPITACIONES MENSUALES O ANUALES.



ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

EN GRAN PARTE DE LAS OCACIONES , ESTAS FÓRMULAS EMPÍRICAS SUPONEN LA ÚNICA ALTERNATIVA PARA PODER ELABORAR LA ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PEQUEÑOS EMBALSES EN CUENCAS NO AFORADAS.

ESAS FÓRMULAS SE ELABORARON A PARTIR DE CAUDALES MEDIOS ANUALES EN NUMEROSAS CUENCAS EXPERIMENTALES Y POSTERIORMENTE SE AJUSTARON A PARÁMETROS MEDIOS ELEGIDOS QUE CORRESPONDIAN A LOS AÑOS DONDE SE HABIAN EFECTUADO LOS AFOROS. EN GENERAL ADOPTAN LA FORMA DE FUNCIÓN DE DETERMINADAS VARIABLES.....PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL, TEMPERATURA MEDIA ANUAL, ETC..... $Q=f(P, T_a, \text{etc....})$

LOS VALORES DEDUCIDOS DE ESTAS FÓRMULAS ESTARÁN ALEJADOS DE LA REALIDAD DE LA CUENCA EN ESTUDIO SI SE USAN EN ZONAS MUY ALEJADAS QUE POCO O NADA TENGAN DE COMÚN CON AQUELLAS QUE DIERON LUGAR A SU FORMULACIÓN.



ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

A PARTIR DE DATOS **DIARIOS** DE PRECIPITACIÓN

TENIENDO REGISTRO DE AL MENOS 30 AÑOS DE PRECIPITACIONES DIARIAS, CONOCIENDO EL CN DE LA CUENCA EN ESTUDIO Y LAS CONDICIONES DE HUMEDAD ($AMC_I - AMC_{II} - AMC_{III}$) SE PUEDEN CALCULAR LOS Q MENSUALES QUE ME PERMITIRÁN CALCULAR LOS Q MEDIOS MENSUALES (DE LOS MISMOS MESES DEL REGISTRO) Y FINALMENTE EL Q MEDIO ANUAL.

ESTE PROCEDIMIENTO ES EL QUE DESARROLLAN GRAN PARTE DE LOS PAQUETES INFORMÁTICOS (WEPP, HEC, ETC....).

POR TANTO ES LA MEJOR OPCIÓN PARA CONOCER ESCORRENTÍAS DIRECTAS EN CUENCAS NO AFORADAS. TENIENDO EN CUENTA LAS ESTACIONES AUTOMÁTICAS DIGITALES QUE REGISTRAN PRECIPITACIONES DIARIAS (Actualmente disponemos de SERIES CORTAS, pero eventualmente se impondrán sobre las que trabajan con precipitaciones mensuales).

ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

A PARTIR DE DATOS **DIARIOS** DE PRECIPITACIÓN

ESTE MÉTODO NOS PROPORCIONA LAS ESCORRENTÍAS DIRECTAS.

SERÁ NECESARIO ESTIMAR LOS FLUJOS BASES PARA DETERMINAR LA ESCORRENTÍA TOTAL Q_t .

MUY DIFÍCIL ESTIMAR LOS FLUJOS BASES CON MODELOS HIDROLÓGICOS. POR ELLO RESULTA RECOMENDABLE DESDE EL MOMENTO EN QUE SE ESTUDIA LA POSIBILIDAD DE PROYECTAR UN PEQUEÑO EMBALSE, EN CAUCES DONDE LOS FLUJOS SON APRECIABLES → **REALIZAR AFOROS DIRECTOS (2 O 3 AL MES Y SIEMPRE TRAS UNOS DÍAS SIN PRECIPITACIONES), COMO PROCEDIMIENTO PARA ESTIMAR LOS FLUJOS BASES EN FORMA FIABLE.**



ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

A PARTIR DE DATOS **MENSUALES Y ANUALES** DE PRECIPITACIÓN

EN LA PRÁCTICA LOS DATOS PLUVIOMÉTRICOS CONOCIDOS SON LAS **PRECIPITACIONES MENSUALES**, LAS ANUALES QUE SE CALCULAN A PARTIR DE LAS ANTERIORES Y EL **NÚMERO TOTAL DE DÍAS DE LLUVIA DE CADA MES**.

EN ESTOS CASOS LA FORMA DE OPERAR ES DETERMINAR LAS ESCORRENTIAS ANUALES TOTALES O DIRECTAS MEDIANTE LOS **MÉTODOS DE TURC Y COUTAGNE** RESPECTIVAMENTE, PARA POSTERIORMENTE DISTRIBUIRLAS ENTRE LOS 12 MESES DEL AÑO MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL **MÉTODO DEL COEFICIENTE DE AJUSTE**.

ES DE DESTACAR QUE ESTE PROCEDER SENCILLO SE APLICA CON RESULTADOS SATISFACTORIOS PARA EL DISEÑO DE PEQUEÑOS **EMBALSES**.



ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

MÉTODO DE TURC

TURC ESTABLECIÓ ESTA METODOLOGÍA A PARTIR DEL ESTUDIO DE 250 CUENCAS EN CASI TODOS LOS CLIMAS DE LA TIERRA.

NO ES RECOMENDABLE SU USO:

- Cuencas menores a 5Km²;
- Cuencas de alta montaña;
- Cuencas con acción solar extrema (muy débil o muy intensa).

EL MÉTODO PROPORCIONA EL ESCURRIMIENTO TOTAL MEDIO ANUAL (ESCORRENTÍA DIRECTA MAS FLUJO BASE).

VARIABLES A UTILIZAR:

- Precipitación media anual (P en mm);
- Temperatura media anual de la cuenca (Ta °C);

NECESITAMOS UN PERÍODO DE OBSERVACIONES DE 30 AÑOS.

ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

MÉTODO DE TURC

FÓRMULAS:

$$n - D - n +$$

DÉFICIT DE ESCORRENTÍA O HÍDRICO →

P (mm) = Precipitación Media Anual

Qt (mm) = Escorrentía Total Media Anual

L = Parámetro Intermedio de Turc

Ta (°C) = Temperatura Media Anual

$$D = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

$$L = 300 + 25 \cdot Ta + 0,05 \cdot Ta^3$$

$$Qt = P - D$$



ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

MÉTODO DE COUTAGNE

EN ESTE MÉTODO SE EMPLEAN LOS DATOS CORRESPONDIENTES A CADA AÑO Y PARA CADA UNO SE DETERMINA LA **Q ANUAL**, POSTERIORMENTE SE OBTIENE COMO MEDIA DE LOS VALORES ANTERIORES LA **Q MEDIA ANUAL**.

NO ES RECOMENDABLE SU USO (MISMAS RESTRICCIONES QUE TURC):

- Cuencas menores a 5Km²;
- Cuencas de alta montaña;
- Cuencas con acción solar extrema (muy débil o muy intensa).

EL MÉTODO PROPORCIONA EL **ESCURRIMIENTO DIRECTO MEDIO ANUAL**.

VARIABLES A UTILIZAR:

- Precipitación media anual (P en mm);
- Temperatura media anual de la cuenca (Ta °C);

NECESITAMOS UN PERÍODO DE OBSERVACIONES DE 30 AÑOS.

ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

MÉTODO DE COUTAGNE

FÓRMULAS:

EVAPOTRANSPIRACIÓN ET → $ET = D_a \cdot \lambda$

P (m) = Precipitación Media Anual

Pc (m) = Precipitación Media Anual menos la infiltración

Ta (°C) = Temperatura Media Anual

$$P_c = P - I = P - 0,10 \cdot P = 0,9 \cdot P \quad \lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 \cdot T_a}$$

$$\frac{1}{8 \cdot \lambda} \leq P_c \leq \frac{1}{2 \cdot \lambda}$$

DOBLE CONDICIÓN
A CUMPLIR →

ESTA LIMITACIÓN ES DETERMINANTE PARA EL MÉTODO YA QUE EXCLUYE LOS AÑOS EXTRAORDINARIOS DE LAS SERIES ELEGIDAS.

ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

MÉTODO DE COUTAGNE

FÓRMULAS:

EL VALOR DE LA ESCORRENTÍA DIRECTA ES →

$$Q_i = P - I - ET = Pc - Pc - \lambda \cdot Pc^2 = \lambda \cdot Pc^2$$

Q_i (m) = Escorrentía Directa Anual

$$Q = \frac{\sum_1^n Q_i}{n}$$

Q (m) = Escorrentía Directa Media Anual

HAY QUE AGREGAR EL FLUJO BASE!!!!!!



ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

MÉTODO DEL COEFICIENTE DE AJUSTE

IDEADO PARA DISTRIBUIR LAS ESCORRENTÍAS ANUALES EN LOS 12 MESES DEL AÑO.

SE BASA EN EL MÉTODO CN, AUNQUE CON ALGUNAS MODIFICACIONES.

POR ESTAR BASADO EN EL MÉTODO CN ES MEJOR APLICARLO A **ESCORRENTÍAS DIRECTAS** QUE A ESCORRENTÍAS TOTALES.

POR ESTA RAZÓN SI LO APLICAMOS SOBRE LOS RESULTADOS DEL MÉTODO DE TURC, SOLO ES RECOMENDABLE CUANDO SE CONOZCA CON GRAN DETALLE LA **GEOMORFOLOGÍA** DE LA CUENCA Y SE PUEDA ASEGURAR QUE EN NINGÚN CASO LAS LLUVIAS CAIDAS SOBRE ELLA SE VAN A TRANSFERIR A CUENCAS COLINDANTES. **SE PODRÁ APLICAR EN CUENCAS CUYOS FLUJOS BASES SEAN INSIGNIFICATIVOS.**



ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

MÉTODO DEL COEFICIENTE DE AJUSTE

PARA APLICAR EL MÉTODO SE PUEDEN UTILIZAR 2 PROCEDIMIENTOS:

1- CALCULAR LA ESCORRENTÍA ANUAL POR EL MÉTODO DE COUTAGNE (O TURC SI CUMPLIMOS LO ANTES DESCRIPTO);

2- CALCULAR LA ESCORRENTÍA ANUAL A PARTIR DE COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA POR AFINIDAD CON CUENCAS PRÓXIMAS. ESTE MÉTODO ES DE MENOR APLICACIÓN PUES TRATÁNDOSE CUENCAS PEQUEÑAS LA PROBABILIDAD DE CONOCER ESTOS COEFICIENTES SON REDUCIDAS.



ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

MÉTODO DEL COEFICIENTE DE AJUSTE

INFORMACIÓN NECESARIA PARA APLICAR EL MÉTODO:

1- PLUVIOMETRÍA MEDIA MENSUAL DE LA CUENCA (P_1, P_2, \dots, P_n);

2- NÚMERO MEDIO DE DÍAS DE LLUVIA POR MES (N_1, N_2, \dots, N_n);

3- TOMAR LA ESCORRENTÍA MEDIA ANUAL DE LA CUENCA (TOTAL O DIRECTA), TURC O COUTAGNE RESPECTIVAMENTE;

4- DETERMINAR LA CN DE LA CUENCA PARA LAS CONDICIONES I, II Y III;

5- CLASIFICAR LOS MESES EN SECOS, MEDIOS Y HÚMEDOS ($AMC_I - AMC_{II} - AMC_{III}$), CRITERIO:

(AMC_I)	$N_i < 5$
(AMC_{II})	$5 \leq N_i \leq 10$
(AMC_{III})	$N_i > 11$

ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

MÉTODO DEL COEFICIENTE DE AJUSTE

INFORMACIÓN NECESARIA PARA APLICAR EL MÉTODO:

6- ASIGNAR A CADA MES EL VALOR DE CN TENIENDO EN CUENTA EL CRITERIO DE HUMEDAD ANTECEDENTE (PUNTO 5), PERO TAMBIEN TENIENDO EN CUENTA LA SIGUIENTE TABLA:

$P_i/4$	(AMC _I)	(AMC _{II})	(AMC _{III})
$< 12,5mm$	CN _I	CN _{II}	CN _{III}
12,5 y 28mm	$(CN_I + CN_{II})/2$	$(CN_{II} + CN_{III})/2$	CN _{III}
$> 28mm$	CN _{II}	CN _{III}	CN _{III}

$> 28mm$	CN _{II}	CN _{III}	CN _{III}
----------	------------------	-------------------	-------------------



ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

MÉTODO DEL COEFICIENTE DE AJUSTE

7- FIJADOS LOS CN DE CADA MES POR LOS CRITERIOS EXPUESTOS, LA ESCORRENTÍA DEL MES VENDRÁ FORMULADA POR:

$$Q_i(K) = 0 \text{ si } \Rightarrow K \cdot P_i \leq 0,2 \cdot S_i$$

$$Q_i(K) = \frac{(K \cdot P_i - 0,2 \cdot S_i)^2}{K \cdot P_i + 0,8 \cdot S_i} \text{ si } \Rightarrow K \cdot P_i > 0,2 \cdot S_i$$

$Q_i(K)$ = Escorrentía media en el mes i

P_i = Lluvia media del mes i

S_i = Retención potencial máxima en el mes i

$0,2 \times S_i$ = la Intercepción o Abstracción Inicial

K = COEFICIENTE DE AJUSTE

ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

MÉTODO DEL COEFICIENTE DE AJUSTE

8- POR TANTEO DETERMINO EL COEFICIENTE DE AJUSTE TAL QUE:

ESCORRENTÍA DIRECTA (O TOTAL) ANUAL

=

$$\sum_1^{12} Q_i \cdot (K) = \frac{(K \cdot P_i - 0,2 \cdot S_i)^2}{K \cdot P_i + 0,8 \cdot S_i}$$

ESTIMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

MÉTODO DEL COEFICIENTE DE AJUSTE

- SE PLANTEA DE FORMA AUTOMÁTICA LOS VALORES POSIBLES ENTRE LOS LÍMITES DE $K=0,5$ Y $K=0,7$.
- LA **INTERPRETACIÓN** DEL MÉTODO NOS INDICA QUE LA PORCIÓN DE LA PLUVIOMETRÍA MENSUAL QUE NO PRODUCE ESCORRENTÍA ES LA QUE SE EMPLEA EN MANTENER EL SUELO EN LOS NIVELES DE HUMEDAD QUE CORRESPONDAN A LA CONDICIÓN EN LA QUE SE HAYA CLASIFICADO ESE MES.



GRACIAS!!!!

Cátedra de Hidráulica Aplicada (CI453)

BIBLIOGRAFÍA

[1] VEN TE CHOW (1994) Hidrología Aplicada. Editorial McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A. Santa Fé de Bogotá – Colombia.

[2] INGENIERO COTTA ROBERTO DIEGO (1970) Clases de Máquinas Hidráulicas y Aprovechamientos Hidroeléctricos. CEILP.

[3] RAFAEL DAL-RÉ TENREIRO Y AYUGA (1989) New method to determinate monthly runoff in small basins. VI International Congress on Agricultural Engineering. Editorial Balkema.

[4] TEMEZ J.R. MOPU (1987) Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. MOPU. Madrid.

[5] RAFAEL DAL-RÉ TENREIRO (2003) Pequeños Embalses de Uso Agrícola. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.