



Universidad
Politécnica
de Cartagena

MÁSTER CieTAT

**Planificación de
recursos hídricos
naturales y urbanos**

TEMA 5
Gestión del
suministro

**Francisco Javier
Pérez de la Cruz**



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. CONCEPTO DE GARANTÍA

Índices de garantía

Criterios prácticos de garantía

3. OBRAS DE REGULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Tipologías

Volumen de almacenamiento

4. MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA REGULACIÓN

Curva de caudales acumulados

Curva de diferencias de caudales acumulados

5. DIMENSIONAMIENTO

Volumen de un embalse

Explotación de un embalse

Capacidad de una balsa

Capacidad de un depósito

6. EJERCICIOS

7. BIBLIOGRAFÍA

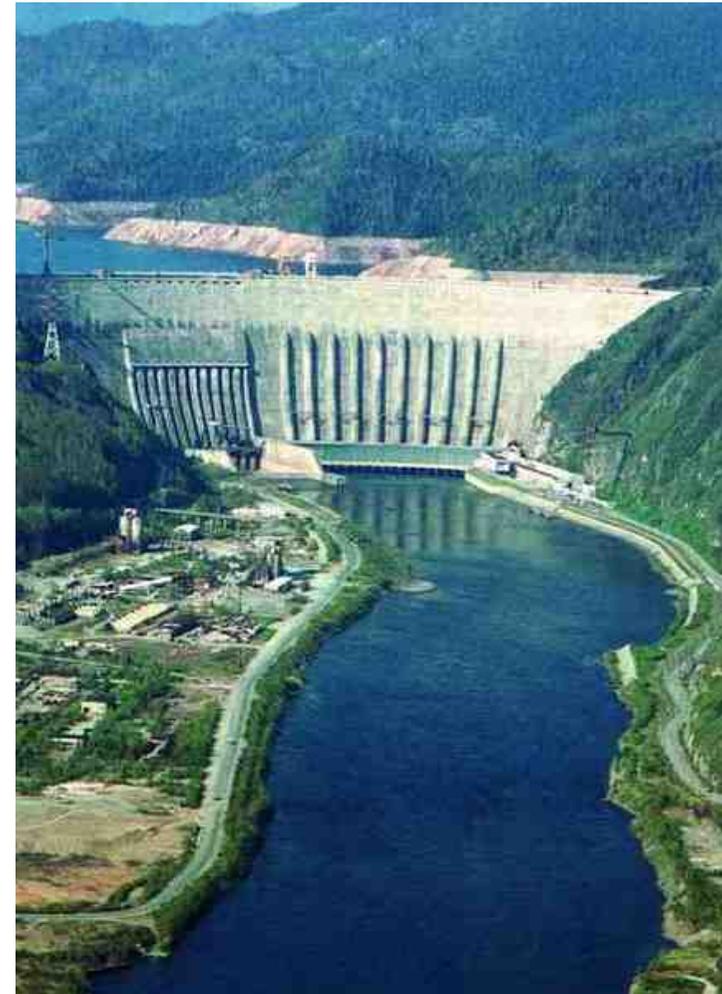


1. INTRODUCCIÓN

La construcción de obras de almacenamiento generalmente responde a la necesidad de gestionar el suministro de aguas mediante la satisfacción de unas demandas hídricas cuyo valor conocemos o somos capaces de determinar.

La estimación de los recursos hídricos disponibles en una cuenca nos permitirá conocer si la misma es capaz de satisfacer las demandas previstas en el proyecto. Por lo tanto, siempre debe cumplirse la condición de que los recursos hídricos medios en cuenca superen a las demandas medias del proyecto.

La necesidad de construir una obra de almacenamiento se debe al desfase temporal que se produce entre la disponibilidad de los recursos y los requerimientos de demanda.





2. CONCEPTO DE GARANTÍA

La garantía (G) se define como la probabilidad de que el sistema se halle en una situación satisfactoria, entendiendo por tal aquella en que el suministro es superior a la demanda solicitada. Al precisar lo que se entiende por estar en una situación satisfactoria es cuando aparecen los distintos índices de garantía (Balairón, 2002).

Factores que afectan al valor de la garantía:

- 1) Longitud del período de análisis → A medida que dicho período es mayor, disminuye el valor de la garantía. Por tanto, para que los cálculos verdaderamente comparativos, deberán referirse a períodos de igual longitud y que comprendan los mismos años.
- 2) Situación al comienzo del periodo de análisis → Necesidad de realizar un estudio de sensibilidad ante diferentes situaciones (por ejemplo, estado de llenado de un embalse).
- 3) Economías de escala y eficiencia → Cuantas menos infraestructuras tengamos, más económico es el sistema, pero mayores los efectos en caso de fallo. Y a mayor eficiencia, menor garantía (menores márgenes).



Índices de garantía

La insatisfacción de las demandas da lugar a una situación de fallo que se ha de describir y cuantificar de alguna forma: frecuencia de presentación, duración del periodo de fallo, déficit ocasionado, etc. Los índices de garantía más comunes se agrupan según tres características básicas:

1) Índices basados en la ocurrencia de fallos → Es el índice más utilizado.

Cuando se adopta el año como intervalo de tiempo, la garantía anual (G_a) representa la probabilidad de que en cualquier año el sistema se halle en una situación satisfactoria para atender la demanda.

La probabilidad de las situaciones contrarias representa lo que se denomina *riesgo o probabilidad de fallo* (P_f).

n = número total de años en un periodo de tiempo considerado

$$P_f = \frac{n_f}{n}$$

n_f = número de años del periodo considerado en los que la fuente de suministro no satisface las necesidades de abastecimiento o demanda (en cantidad o calidad)

$$G_a = 1 - P_f$$



PLANIFICACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

Tema 5. Gestión del suministro



Si como intervalo de tiempo se adopta el mes, el índice obtenido se denomina garantía mensual (G_m).

Uno de los principales inconvenientes que presentan este tipo de índices basados en la ocurrencia de es que no tienen en cuenta la diferente magnitud ni las consecuencias de los mismos (es decir, da igual fiabilidad una situación catastrófica que situaciones con un suministro ligeramente inferior a la demanda).

En general, la forma más simple de paliar este inconveniente ha sido la consideración de *diferentes niveles de fallo*.

Así, en lugar de considerar solo situaciones satisfactorias, se consideran aquellas otras en que el suministro es superior a una determinada fracción de la demanda.

Por ejemplo, puede obtenerse la garantía anual correspondiente al 80% de la demanda, que representaría la probabilidad de que en cualquier año el suministro fuese superior al 80% de la demanda anual.



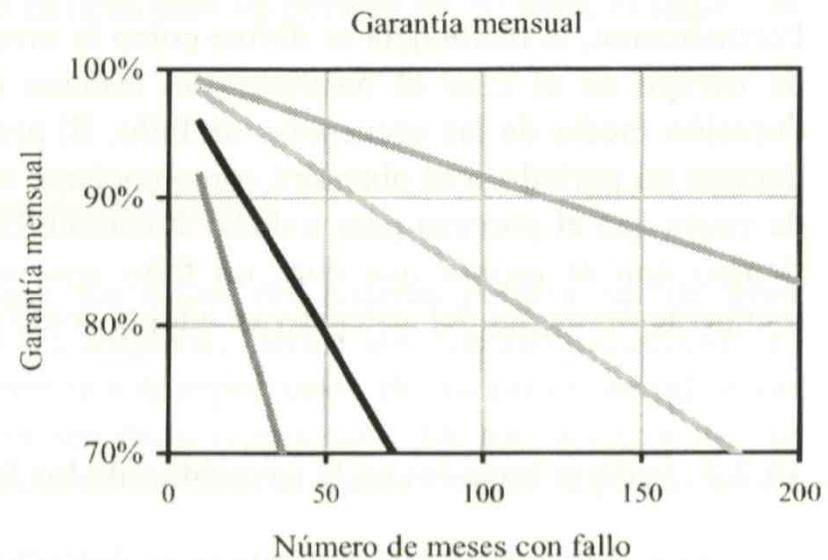
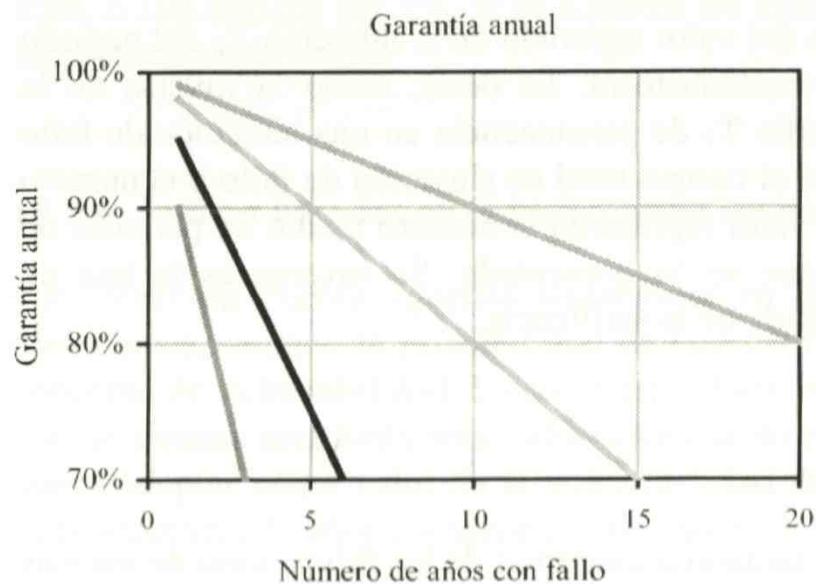


PLANIFICACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS



Tema 5. Gestión del suministro

En las siguientes figuras se representan los valores de las garantías anuales y mensuales de un sistema de explotación en función del tamaño de la serie de datos y del número de fallos ocurridos.



Garantías mensual y anual suponiendo una serie de datos de 10, 20, 50 ó 100 años (líneas de izquierda a derecha, respectivamente). Por ejemplo, un sistema que en 20 años presente 50 meses can fallo tendrá una garantía mensual del 79%. Igualmente, si en 20 años se incurre en 5 años con fallo, la garantía anual será del 75% (Balairón, 2002)



- 2) Índices basados en la duración de los fallos → Se definen en función de la garantía temporal (G_t), que es la fracción del periodo de operación durante el cual la demanda ha sido plenamente satisfecha, es decir, como la suma todos los periodos A_t (sin fallo) expresada en relación con el periodo de operación total T .

$$G_f = \frac{1}{T} \sum_{R(t) > D(t)} A_t$$

donde $R(t)$ representa el suministro y $D(t)$ la demanda.

Dado que el intervalo de cálculo habitual en el análisis de los problemas de suministro de agua es el mes, la garantía temporal se suele aproximar por medio de la garantía mensual.

Otros autores emplean el concepto de *resiliencia*, que indica la rapidez con que el sistema se recupera una vez que el fallo se ha producido

Este concepto es más completo que G_t ya que permite tener en cuenta si los fallos se concentran en un determinado periodo de tiempo (a mayor concentración, peor calidad).



Como medida de la resiliencia se adopta la Tasa de recuperación media del sistema (T_r) que es la inversa de la duración media de las secuencias de fallo (T_f). Esta duración media se obtendrá como cociente entre el tiempo total en situación de fallo (T_{tf}) y el número de veces que el proceso pasa a dicha situación (N).

$$T_r = \frac{1}{T_f} \quad T_f = \frac{T_{tf}}{N}$$

3) Índices basados en la severidad de los fallos → Estos índices permiten describir el tamaño o la magnitud de los fallos.

- El más sencillo es el déficit que hay entre la demanda y el suministro, es decir, representa la demanda que no ha sido servida (en un año o en un periodo de años).
- Otro es el déficit medio, que se define como el cociente entre la suma de los déficits que se producen durante un determinado periodo de tiempo y el número de déficits.



- Un índice muy utilizado (desde 1930) es la garantía volumétrica (G_v), que representa la fracción de la demanda total que se satisface durante un cierto periodo de tiempo.
- El U. S. Army Corps of Engineers utiliza en varias de sus publicaciones el concepto de índice de escasez (e), definido como la suma de los cuadrados de las relaciones anuales entre el déficit y la demanda, multiplicada por 100 y dividida por el número de años de operación.

4) Índices basados en la repercusión económica de los fallos → Para tener en cuenta aquellas situaciones en las que los fallos del sistema pueden ser de gran importancia, aunque la probabilidad de que ocurran sea pequeña, ciertos autores han introducido el concepto de *vulnerabilidad*.

Este concepto hace referencia a la repercusión de los fallos, de tal modo que un sistema será tanto más vulnerable cuanto mayor sea dicha repercusión.

De forma elemental, se de adoptar como valor de la vulnerabilidad la media de los déficits máximos que se producen en cada secuencia de años consecutivos con fallo.



Criterios prácticos de garantía

Se adjuntan a continuación algunos de los índices de garantía más frecuentemente empleados en diferentes instituciones norteamericanas:

<i>Organismo</i>	<i>Uso del agua</i>	<i>Déficit 1 año</i>	<i>Déficit 2 años</i>	<i>Déficit 10 años</i>	<i>Déficit 20 años</i>
Harvard Water Program	Regadíos	0,50 D			1,50 D
U.S. Bureau of Reclamation	Regadíos	0,50 D		D	
	Doméstico	0,15 D			
Utah Department of Water Resources	Regadíos	0,50 D	0,75 D	D	
Denver Water Department	Doméstico	0			
California Department of Water Resources	Doméstico	0			

Índices basados en la severidad de los fallos utilizados en diferentes organismos (Balairón, 2002)

<i>Organismo</i>	<i>Uso del agua</i>	<i>Garantía</i>
Soil Conservation Service	Regadíos	$G_a = 80\%$
Seattle District Corps of Engineers	Doméstico	$G_a = 98\%$
	Regadíos	$G_a = 95\%$

Índices basados en la ocurrencia de los fallos en diferentes organismos (Balairón, 2002)



PLANIFICACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

Tema 5. Gestión del suministro



En España, las Recomendaciones de 1992 (MOPU) para la elaboración de los PHC fijaban como criterios de garantía los índices recogidos en la siguiente tabla, basados en la severidad de los fallos.

En la tabla también se recogen los valores que algunos de los PHC han adoptado como índices de garantía.



<i>Organismo</i>	<i>Uso del agua</i>	<i>Déficit 1 año</i>	<i>Déficit 2 años</i>	<i>Déficit 10 años</i>
Recomendaciones MOPU para elaboración PHC	Abastecimiento	0,05–0,10 D	0,10-0,16 D	0,16-0,30 D
	Regadíos	0,20-0,40 D	0,30-0,60 D	0,40-0,80 D
PHC del Tajo	Abastecimiento	0,05 D	0,10 D	0,35 D
	Regadíos	0,20 D	0,30 D	0,40 D
PHC del Ebro	Abastecimiento	0,05 D	0,10 D	0,16 D
	Regadíos	0,40 D	0,60 D	1,00 D

Índices basados en la severidad de los fallos utilizados en España (Balairón, 2002)



3. OBRAS DE REGULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Según el Artículo 122 del Texto Refundido de la Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio):

“se entiende por **obra hidráulica** la construcción de bienes que tengan naturaleza inmueble destinada a la captación, extracción, desalación, **almacenamiento, regulación**, conducción, control y aprovechamiento de las aguas, así como el saneamiento, depuración, tratamiento y reutilización de las aprovechadas y las que tengan como objeto la recarga artificial de acuíferos, la actuación sobre cauces, corrección del régimen de corrientes y la protección frente avenidas, tales como presas, **embalses**, canales de acequias, azudes, conducciones, y **depósitos de abastecimiento a poblaciones**, instalaciones de desalación, captación y bombeo, alcantarillado, colectores de aguas pluviales y residuales, instalaciones de saneamiento, depuración y tratamiento, estaciones de aforo, piezómetros, redes de control de calidad, diques y obras de encauzamiento y defensa contra avenidas, así como aquellas actuaciones necesarias para la protección del dominio público hidráulico”.





Tipologías

Dentro de las obras hidráulicas de regulación y almacenamiento de los recursos hídricos naturales y urbanos, distinguiremos tres tipologías:

1) Embalses → Depósito formado artificialmente cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa, y en el que se almacenan las aguas de un río o arroyo, a fin de utilizarlas en el riego de terrenos, en el abastecimiento de poblaciones, en la producción de energía eléctrica, etc. (RAE)

2) Balsas → Hueco del terreno que se llena de agua, natural o artificialmente (RAE).

Estructura hidráulica que no se localiza sobre un curso natural de agua, y que almacena recursos procedentes de derivaciones, impulsiones, canales o pozos.

3) Depósitos → Lugar o recipiente donde se deposita (RAE)

Estructura apta para contener un cierto volumen de agua, con las instalaciones complementarias precisas para cumplir funciones de regulación de caudales, de carga y de seguridad del servicio.



EJEMPLO

EMBALSE JOSÉ MARÍA DE ORIOL

Presa de Alcántara (Cáceres)





EJEMPLO

BALSA

Central de Taum Sauk (Missouri, EE.UU.)





EJEMPLO

DEPÓSITO

San Miguel de Salinas (Alicante)





Volumen de almacenamiento

La determinación del volumen o capacidad de almacenamiento es una de las decisiones de mayor incidencia en el proyecto de una obra de regulación.

Los criterios a aplicar para establecer el volumen o tamaño óptimo son múltiples y se derivan de factores funcionales, morfológicos, económicos, geotécnicos, climáticos y de seguridad.

Desde un punto de vista funcional, para determinar la capacidad se elaborará un estudio en el que debe tenerse en cuenta el régimen de aportaciones o disponibilidad de agua y las demandas, que se concretarán a partir del uso que quiera darse al embalse.

En el caso de demandas urbanas se requerirá el conocimiento de la población existente y la importancia del sector industrial, así como una estimación de su evolución durante la vida útil del embalse.

Por tanto, será necesario llegar a conocer con cierta fiabilidad las disponibilidades de recursos hídricos (cauce fluvial, depuradoras, acuífero, desalinización, etc.) y comparándolas con las demandas se obtendrá el volumen necesario de agua a almacenar.

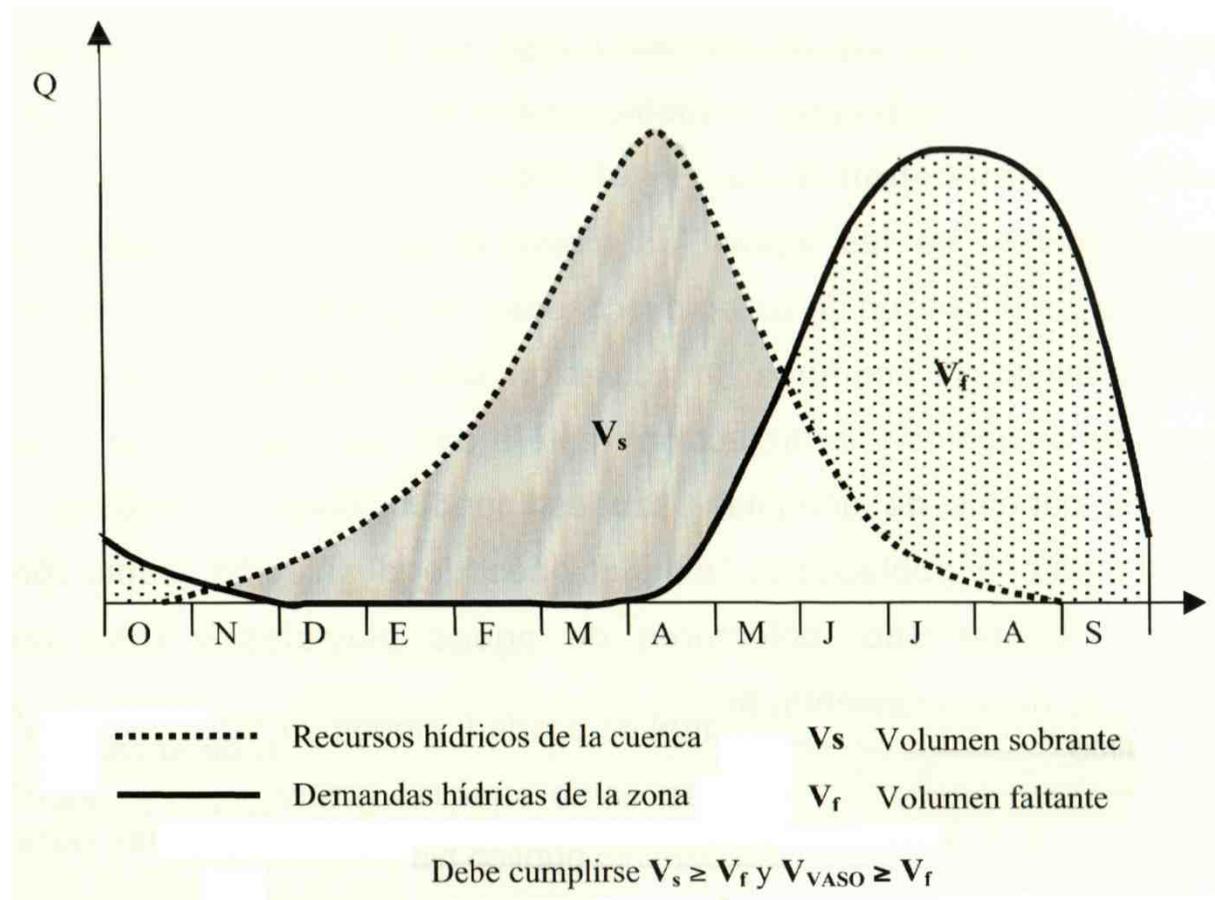


PLANIFICACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

Tema 5. Gestión del suministro



En el caso de los embalses, al no ser coincidentes la distribución de recursos con las demandas, dicho embalse debe suponer un volumen de almacenamiento que absorba las diferencias producidas entre las fluctuaciones de la disponibilidades y el consumo.

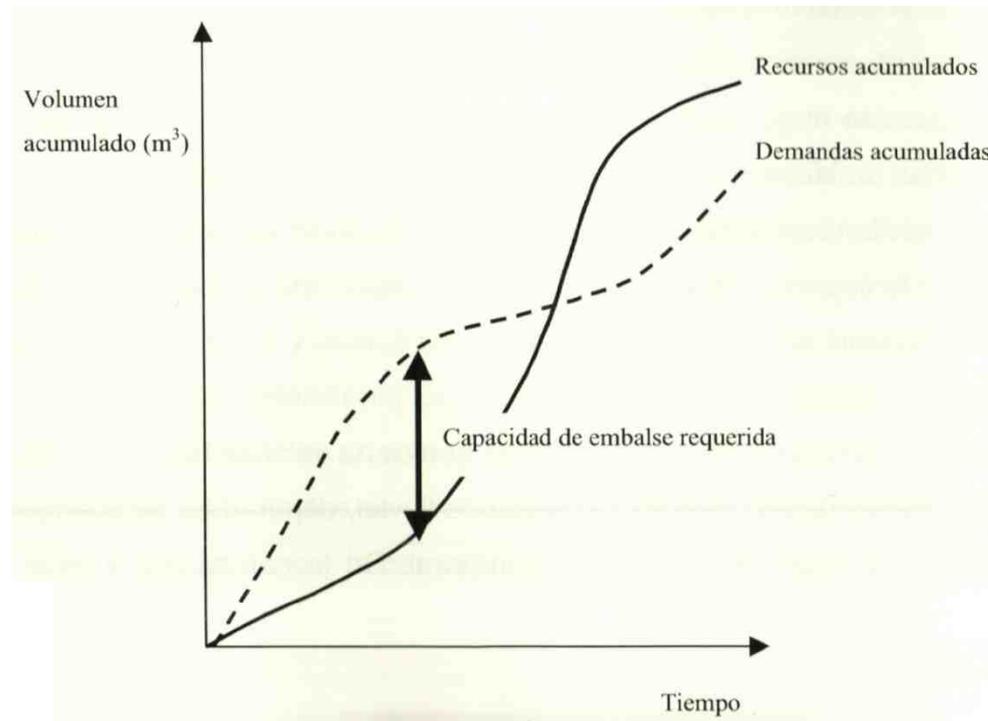




Para ello será importante fijar la escala temporal de regulación, que puede ser desde unas pocas horas (impulsión nocturna a balsas de riego) hasta varios años (grandes embalses de cabecera de cuenca).

La determinación gráfica de la capacidad de embalse requerida se obtiene directamente a partir del estudio gráfico (diferencia en ordenadas) entre las curvas de disponibilidad y consumos acumulados para el periodo establecido.

En el caso de un embalse de regulación hiperanual, además de realizar esta compensación de recursos y demandas a lo largo del año, debe compensar la heterogeneidad de recursos entre años lluviosos y secos, almacenando los recursos sobrantes de los primeros para consumirlos en los segundos.





Otros factores que se han de considerar a la hora de fijar la capacidad de una obra hidráulica de regulación son los siguientes:

- *La adecuación a la morfología del terreno* → Como, por ejemplo, el equilibrio entre el material extraído y el utilizado en la presa de un embalse.
- *Disponibilidad de suelo* → Las dimensiones máximas de una presa de tierras en planta vienen limitadas por la superficie disponible.
- *Condicionantes económico-financieros* → Evidentemente existe una relación directa entre la capacidad del embalse y su presupuesto (financiación).
- *Condicionantes geotécnicos* → La altura máxima de agua a embalsar viene dada en función de las características geotécnicas del terreno (tensiones admisibles).
- *Condicionantes climáticos* → Excesivas pérdidas por evaporación pueden aconsejar reducir las dimensiones del embalse, y por ello, su capacidad.
- *Daños por desbordamiento y rotura* → La capacidad máxima de la obra debe ser compatible con la magnitud de daños asumibles (clasificación en función de daños asociados a rotura).



4. MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA REGULACIÓN

La **regulación** es un estudio previo al diseño de las obras hidráulicas en el que se comparan y se ajustan los recursos hídricos disponibles (aportaciones) con los usos que de este agua se pretenden (demandas).

El estudio concluye con la necesidad o no de construir la obra hidráulica, estableciendo sus dimensiones mínimas, su régimen de explotación y el resultado previsto en la satisfacción de los usos.

La regulación es necesaria cuando las aportaciones y las demandas no coinciden en el tiempo, es decir, cuando en las épocas de recursos abundantes las demandas son escasas y viceversa.

Se precisa, entonces, regular artificialmente las aportaciones para adaptarlas a las demandas, lo que se consigue con los embalses u otras obras (depósitos, balsas, etc.) donde se almacenan los excedentes para utilizarlos después.

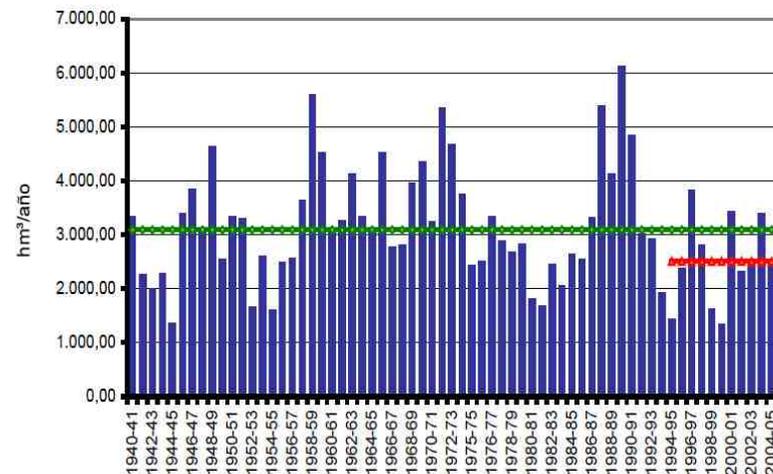




Aportaciones → Las aportaciones se refieren a la oferta de agua, es decir al caudal de agua de que se dispone o con que se cuenta

Como las aportaciones futuras no son conocidas, en los estudios de regulación se utilizan

- 1) *Aportaciones históricas* → Conjunto de datos existentes.
- 2) *Aportaciones sintéticas* → Conjunto de datos generados mediante formulaciones matemáticas que tienen las mismas características estadísticas que una serie natural.



Aportaciones históricas de la CH del Júcar (periodo 1940/2005)

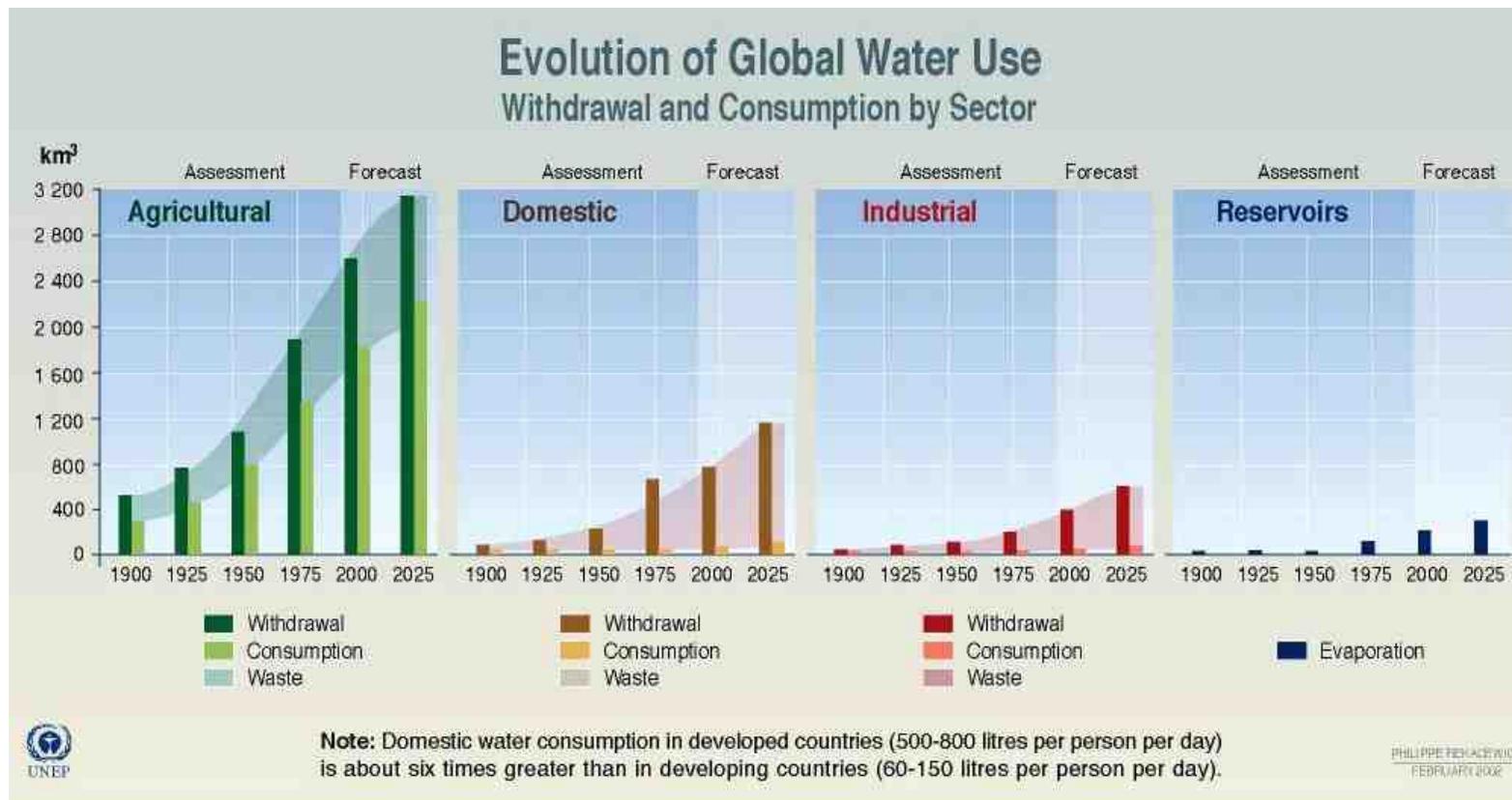


PLANIFICACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS



Tema 5. Gestión del suministro

Demandas → La demanda se refiere al uso del agua, es decir el caudal de agua que se solicita para satisfacer un aprovechamiento. Los aprovechamientos más comunes son los regadíos, abastecimientos urbanos e industriales, hidroeléctricos, medioambientales, etc.



Source: Igor A. Shiklomanov, State Hydrological Institute (SHI, St. Petersburg) and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO, Paris), 1999.



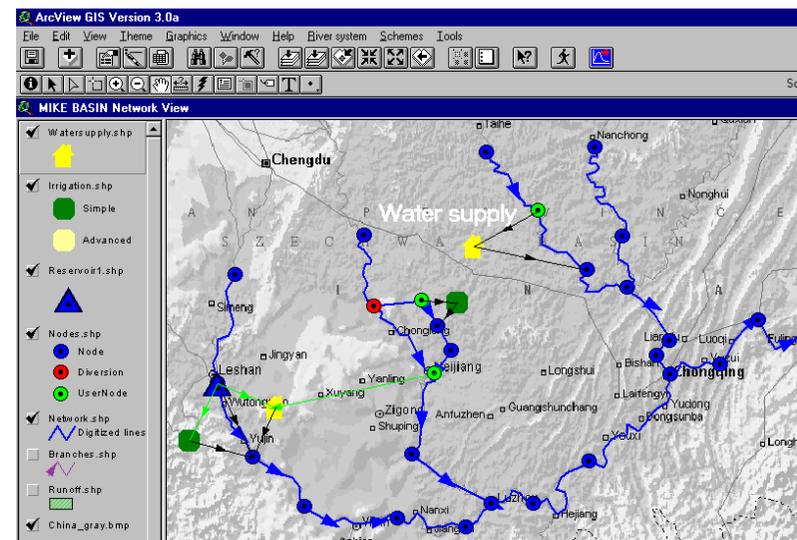
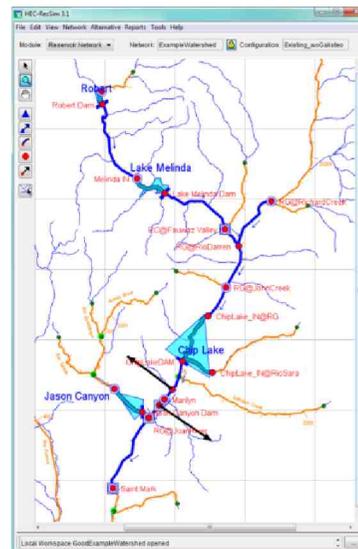
PLANIFICACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

Tema 5. Gestión del suministro



En cuanto a los métodos existentes para el cálculo de la regulación distinguiremos entre:

- 1) Métodos gráficos → Curva de diferencias acumuladas
- 2) Métodos numéricos → Existen diferentes programas como:
 - HEC ResSim → Modelización de un sistema de embalses
 - Mike BASIN → Planificación y gestión versátil de los recursos hídricos



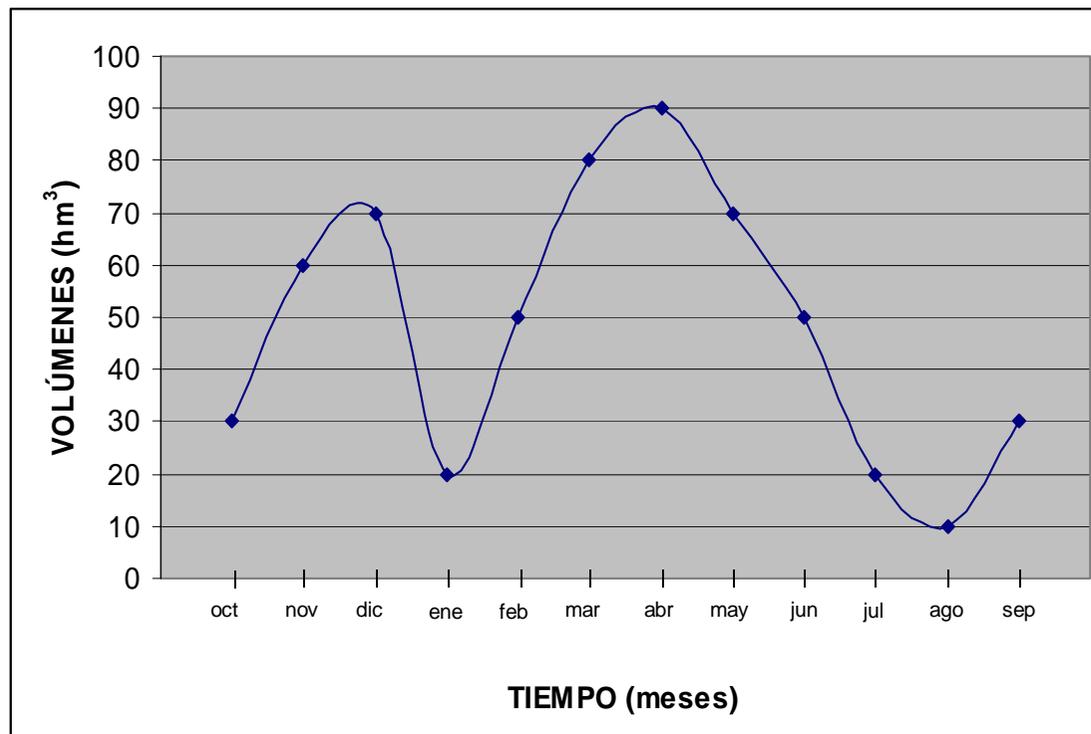


Curva de diferencias de caudales acumulados

La forma más inmediata de visualizar un caudal consiste en representar el volumen aportado en un intervalo de tiempo.

Esta curva es adecuada para representar, por ejemplo, el régimen de un río constatando la variación de aportaciones con el tiempo (no válido para regulación).

TIEMPO (meses)	VOL (hm^3)
octubre	30
noviembre	60
diciembre	70
enero	20
febrero	50
marzo	80
abril	90
mayo	70
junio	50
julio	20
agosto	10
septiembre	30





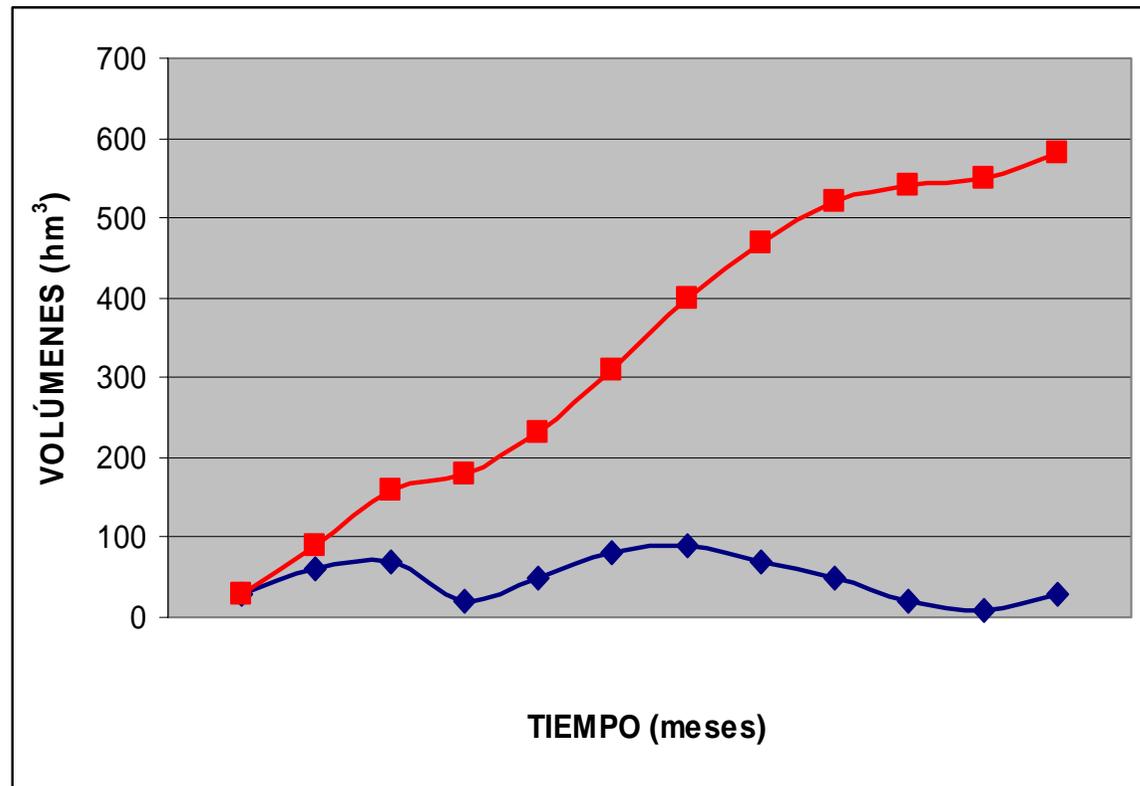
PLANIFICACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS



Tema 5. Gestión del suministro

Curva de caudales acumulados (CCA) → Dado que la regulación consiste en reservar las aportaciones excedentes para utilizarlas más tarde, no sólo interesa la aportación de cada momento, sino la suma de aportaciones hasta ese momento (ocurriendo lo mismo con las demandas).

TIEMPO (meses)	VOL (hm^3)	Σ VOL (hm^3)
octubre	30	30
noviembre	60	90
diciembre	70	160
enero	20	180
febrero	50	230
marzo	80	310
abril	90	400
mayo	70	470
junio	50	520
julio	20	540
agosto	10	550
septiembre	30	580





Las principales características de la CCA son las siguientes:

- 1) *Es una curva creciente.* Más estrictamente diríamos que nunca es decreciente, al no existir caudales negativos.
- 2) *Un caudal constante se representa como una recta.* $Q = \frac{V}{t} = \operatorname{tg}\alpha = m$
El caudal representado por una recta es igual a la pendiente (m) de esa recta, siendo V el volumen aportado en un tiempo t y α es el ángulo que la recta que representa a Q forma con la horizontal
- 3) *A mayor caudal, mayor pendiente.* La horizontal (pendiente nula) representa un caudal cero (rectas paralelas representan el mismo caudal).
- 4) *Recta tangente en un punto representa el caudal instantáneo en ese momento.*
- 5) *La recta que une dos puntos de la curva representa el caudal medio en ese intervalo de tiempo.*
- 6) *El volumen acumulado por un caudal (o una sucesión de caudales) en un intervalo de tiempo se obtiene como diferencia entre las ordenadas del origen y del final de la línea (o sucesión de líneas que lo representan).*

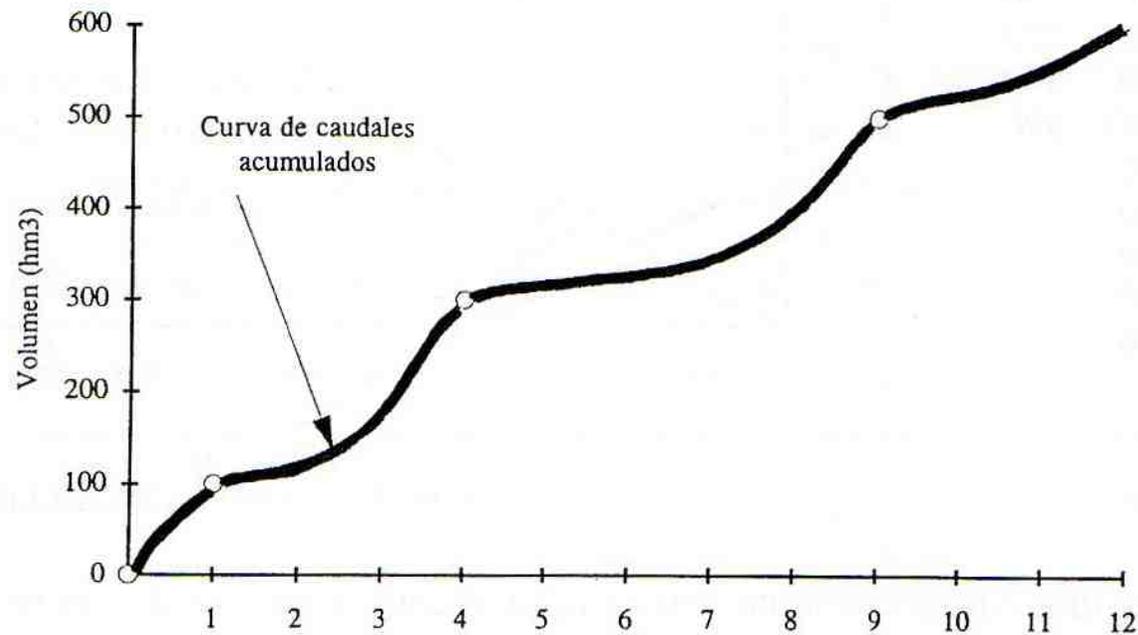


EJEMPLO

EJEMPLO 5.1 (Martín y Garrote, 2005)

Curva de caudales acumulados

En la siguiente curva de caudales acumulados, obtener el volumen V_t (volumen acumulado por la sucesión de caudales entre $t = 1$ y $t = 9$), el caudal Q_m (caudal medio de ese periodo) y el caudal Q_4 (caudal en el instante $t = 4$).





EJEMPLO

EJEMPLO 5.1 (Martín y Garrote, 2005)

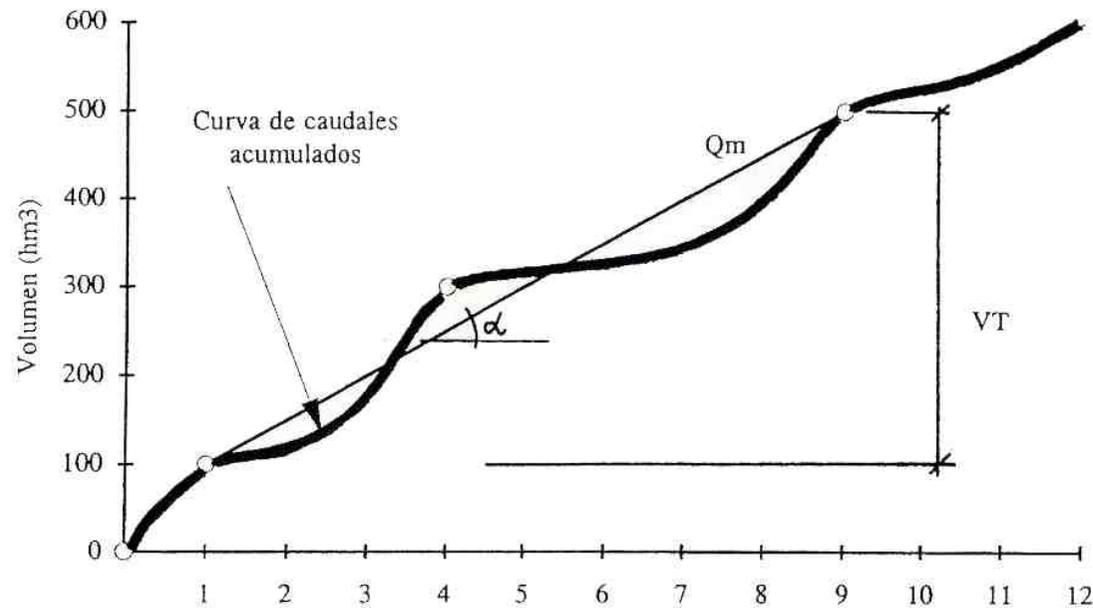
Curva de caudales acumulados

El volumen acumulado entre $t = 1$ y $t = 9$ se obtiene directamente en el eje de ordenadas:

$$V_t = 500 - 100 = 400 \text{ hm}^3$$

Q_m viene dado por la pendiente de la recta que une los puntos de la curva para $t = 1$ y para $t = 9$.

$$\begin{aligned} Q_m &= m_{Q_m} = \operatorname{tg} \alpha \\ &= \frac{400 \text{ hm}^3}{8 \text{ años}} \\ &= 50 \text{ hm}^3 / \text{año} \\ &= 1,59 \text{ m}^3 / \text{s} \end{aligned}$$





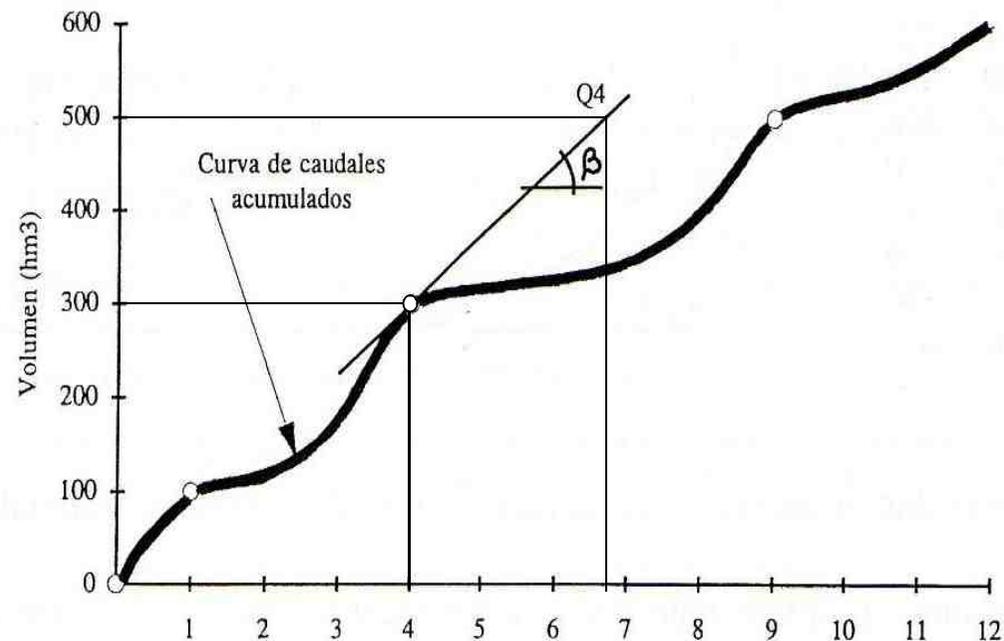
EJEMPLO

EJEMPLO 5.1 (Martín y Garrote, 2005)

Curva de caudales acumulados

Para el caudal instantáneo Q_4 se traza la tangente en el punto $t = 4$ y se obtiene la pendiente de la recta.

$$\begin{aligned} Q_4 &= m_{Q_4} = \operatorname{tg} \alpha \\ &= \frac{500 - 300}{6,67 - 4} \\ &= 75 \text{ hm}^3 / \text{año} \\ &= 2,38 \text{ m}^3 / \text{s} \end{aligned}$$

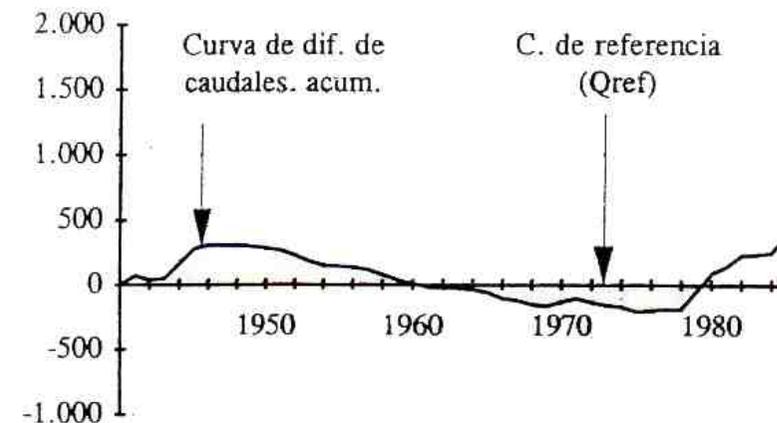
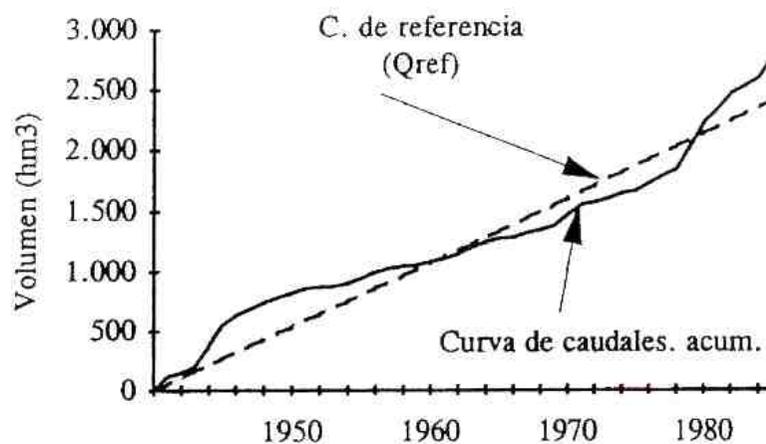




Inconveniente de la CCA → Al ser siempre creciente, supera fácilmente los límites del gráfico cuando se añaden valores adicionales.

Para solucionar este problema → **Curva de diferencias de caudales acumulados (CDCA)** que se obtiene realizando las siguientes operaciones simultáneamente:

- 1) En lugar de acumular los caudales, se acumulan las diferencias de los caudales con uno que se toma como referencia (Q_{ref})
- 2) El caudal de referencia (Q_{ref}) se representa mediante una recta horizontal





Las principales características de la CDCA son las siguientes:

- 1) *La curva puede ser creciente o decreciente (pendientes positivas o negativas)*
- 2) *Los caudales se representan como rectas.*

El caudal representado por una recta NO es igual a la pendiente de esa recta (basta comprobar que la horizontal, que tiene pendiente nula, representa al Q_{ref}).

- 3) *A mayor caudal, mayor pendiente de la recta que lo representa (rectas paralelas representan el mismo caudal).*
- 4) *La recta que une dos puntos de la curva representa el caudal instantáneo en ese momento.*
- 5) *El volumen acumulado por un caudal (o por una sucesión de caudales) en un intervalo de tiempo NO se obtiene de la lectura directa en el eje de ordenadas.*

Basta comprobar que la lectura directa del volumen aportado por el caudal de referencia en cualquier intervalo de tiempo es igual a cero)

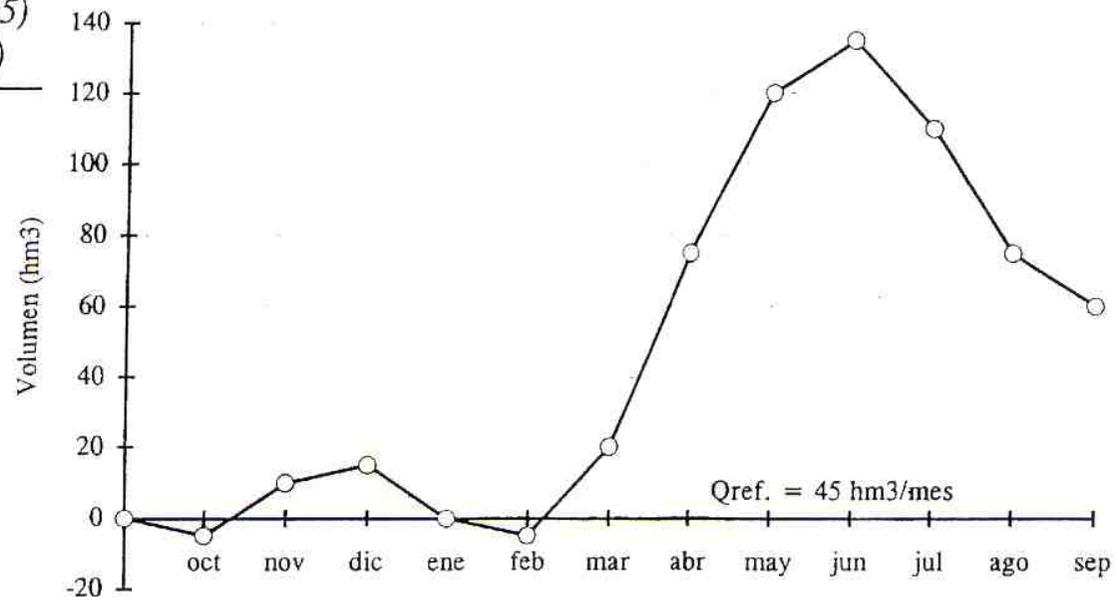


EJEMPLO

EJEMPLO 5.2 (Martín y Garrote, 2005)

Curva de diferencia de caudales acumulados

Mes	A_i (hm^3)	A_i-45 (hm^3)	$\Sigma(A_i-45)$ (hm^3)
oct	40	-5	-5
nov	60	15	10
dic	50	5	15
ene	30	-15	0
feb	40	-5	-5
mar	70	25	20
abr	100	55	75
may	90	45	120
jun	60	15	135
jul	20	-25	110
ago	10	-35	75
sep	30	-15	60





PLANIFICACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS



Tema 5. Gestión del suministro

En cuanto al **caudal de referencia** puede ser cualquier caudal. Si se elige adecuadamente se elimina el problema de crecimiento continuo que tiene la CCA.

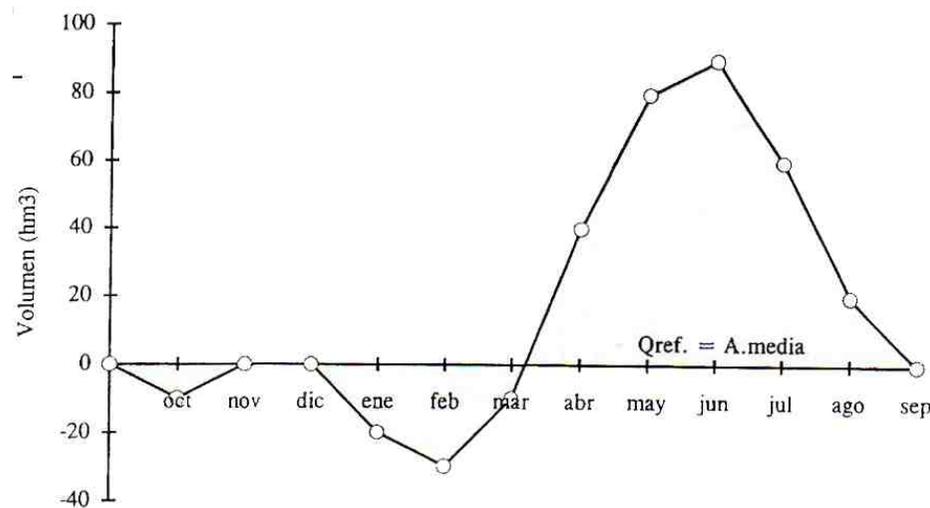
Se suele utilizar un caudal que siempre garantiza un resultado correcto: el caudal medio del periodo. Con esto se asegura que, al menos, el último punto de la curva está sobre el eje de abscisas.

EJEMPLO

EJEMPLO 5.2 (Martín y Garrote, 2005)

Curva de diferencia de caudales acumulados

Mes	A_i (hm^3)	$A_i - A_{med}$ (hm^3)	$\Sigma(A_i - A_{med})$ (hm^3)
oct	40	-10	-10
nov	60	10	0
dic	50	0	0
ene	30	-20	-20
feb	40	-10	-30
mar	70	20	-10
abr	100	50	40
may	90	40	80
jun	60	10	90
jul	20	-30	60
ago	10	-40	20
sep	30	-20	0
A_{med}	50 $hm^3/año$		





Cálculo de volúmenes

Analizando la forma en que se construye la CDCA se deduce que:

1) *Volumen aportado por un caudal en un intervalo de tiempo*

La lectura directa del eje de ordenadas (V_A') indica la diferencia entre el volumen aportado por un caudal en un tiempo (V_A) y el volumen aportado por el caudal de referencia en ese mismo tiempo (V_{ref}).

$$V_A' = V_A - V_{ref}$$

2) *Diferencia de volúmenes aportados por dos caudales (o sucesiones de caudales) en el mismo intervalo de tiempo*

La diferencia entre los volúmenes reales es igual a la diferencia entre los volúmenes medidos directamente en el gráfico.

$$V_A - V_B = (V_A' + V_{ref}) - (V_B' + V_{ref}) = V_A' - V_B'$$



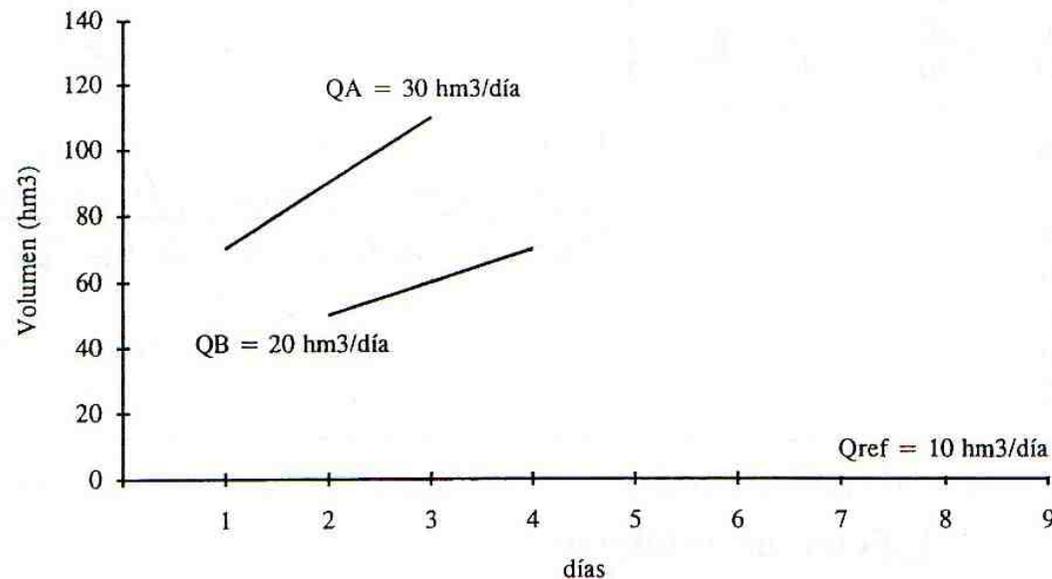
EJEMPLO

EJEMPLO 5.3 (Martín y Garrote, 2005)

Cálculo de volúmenes

Dadas las rectas que representan $Q_A = 30 \text{ hm}^3/\text{día}$ y $Q_B = 20 \text{ hm}^3/\text{día}$, obtener gráficamente la diferencia de los volúmenes aportados por dichos caudales entre el inicio del día 4 y el final del día 7.

Calcular también el volumen total aportado por Q_A en ese periodo.





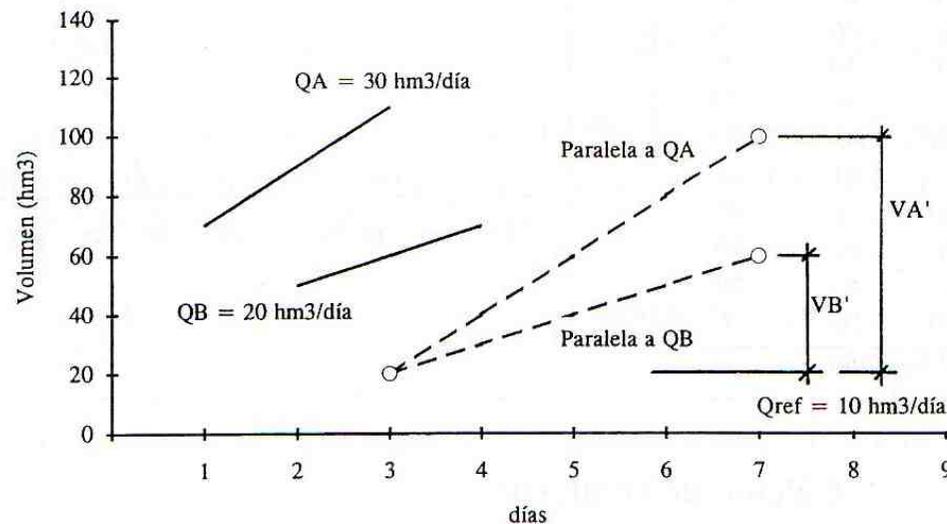
EJEMPLO

EJEMPLO 5.3 (Martín y Garrote, 2005)

Cálculo de volúmenes

Se dibujan los caudales con un origen común, para lo cual se trazan paralelas a las rectas que representan los caudales por un punto común cualquiera situado en la vertical del inicio del día 4 (por ejemplo el punto correspondiente a un volumen de 20 hm³).

Las paralelas se dibujan hasta la vertical del final del día 7. Se miden directamente en el eje de ordenadas los volúmenes $V'_A = 80 \text{ hm}^3$ y $V'_B = 40 \text{ hm}^3$ y calculamos la diferencia entre los volúmenes reales V_A y V_B .





EJEMPLO

EJEMPLO 5.3 (Martín y Garrote, 2005)

Cálculo de volúmenes

$$V_A - V_B = V_A' - V_B' = 80 - 40 = 40 \text{ hm}^3$$

El volumen V_A se calcula con la fórmula:

$$V_A = V_A' + V_{ref}$$

El volumen V_{ref} se obtiene de la siguiente forma:

$$V_{ref} = Q_{ref} \cdot t = 10 \text{ hm}^3 / \text{día} \cdot 4 \text{ días} = 40 \text{ hm}^3$$

Por tanto, el volumen V_A será:

$$V_A = 80 + 40 = 120 \text{ hm}^3$$





Representación de caudales

Analizando la forma en que se construye la CDCA se deduce que:

1) *Caudal*

El caudal representado por una recta es igual a la suma de la pendiente de dicha recta y el Q_{ref} .

$$m_A = \frac{V_A'}{t} = \frac{V_A - V_{ref}}{t} = \frac{V_A}{t} - \frac{V_{ref}}{t} = Q_A - Q_{ref} \quad Q_A = m_A + Q_{ref}$$

2) *Diferencia de caudales*

La diferencia de caudales es igual a la diferencia de las pendientes de las rectas que los representan.

$$Q_A - Q_B = (m_A + Q_{ref}) - (m_B + Q_{ref}) \quad Q_A - Q_B = m_A - m_B$$



EJEMPLO

EJEMPLO 5.4 (Martín y Garrote, 2005)

Representación de caudales

Si el $Q_{ref} = 20 \text{ hm}^3/\text{mes}$, dibujar la recta que representa a $Q_0 = 0$

En esta caso, aplicaremos la siguiente fórmula:

$$Q_A - Q_B = m_A - m_B$$

Conocemos los dos caudales $Q_A (Q_{ref})$ y $Q_B (Q_0)$ y la pendiente m_A (que, al ser la pendiente del Q_{ref} que se representa mediante una recta horizontal, será igual a cero)

$$Q_{ref} = 20 \text{ hm}^3/\text{mes}$$

$$Q_0 = 0 \text{ hm}^3/\text{mes}$$

$$m_{ref} = 0 \text{ hm}^3/\text{mes}$$

Aplicando la fórmula tendremos:

$$m_0 = -Q_{ref} + Q_0 + m_{ref} = -20 + 0 + 0 = -20 \text{ hm}^3 / \text{mes}$$



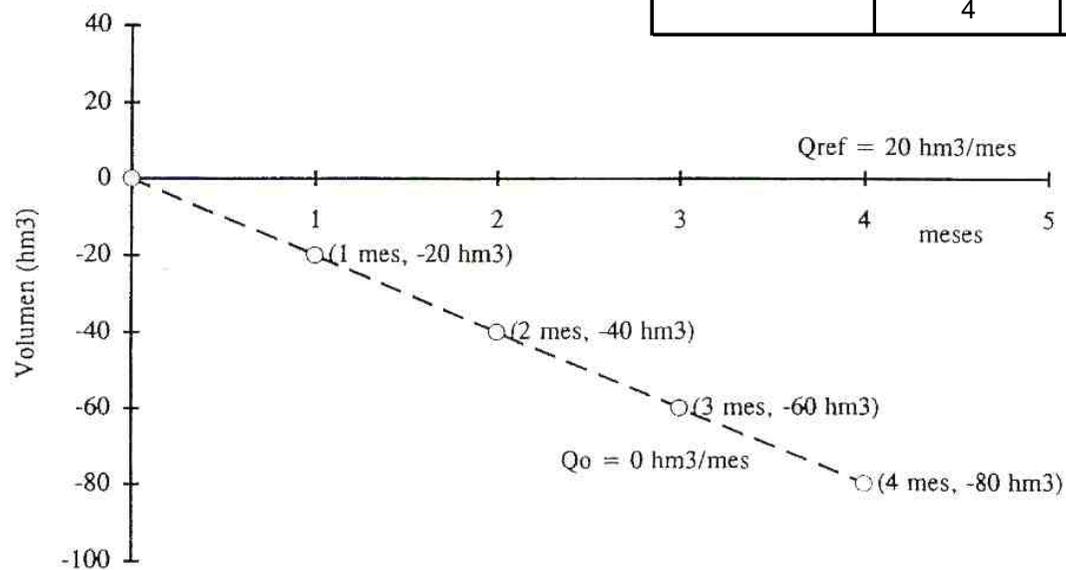
EJEMPLO

EJEMPLO 5.4 (Martín y Garrote, 2005)

Representación de caudales

La recta que representa a Q_0 (es decir, la recta que tiene pendiente $m_0 = -20 \text{ hm}^3/\text{mes}$) se dibuja obteniendo los valores de volumen (ordenadas) correspondientes a los valores de tiempo (abscisas) según la pendiente obtenida.

	meses (x)	volumen (y)
$m = y / x$	0	0
$y = x \cdot m$	1	-20
	2	-40
$y = x \cdot (-20)$	3	-60
	4	-80





5. DIMENSIONAMIENTO

Volumen de un embalse

La regulación gráfica sirve para realizar el dimensionamiento de un embalse, definiendo su capacidad.

La mayoría de los problemas de regulación consisten en la **comparación entre aportaciones y demandas**. De esta comparación se constatará la suficiencia de los caudales circulantes para satisfacer las demandas o, en caso contrario, la necesidad de realizar obras de regulación

Para comparar aportaciones y demandas → Comparar caudales

Para comparar caudales → Comparar pendientes

Si $m_A \geq m_D \rightarrow Q_A \geq Q_D$ y la demanda se satisface plenamente

Si $m_A < m_D \rightarrow Q_A < Q_D$ y la demanda no se satisface (déficit)

siendo m_A la pendiente de la recta que representa las aportaciones Q_A
 m_D la pendiente de la recta que representa las demandas Q_D



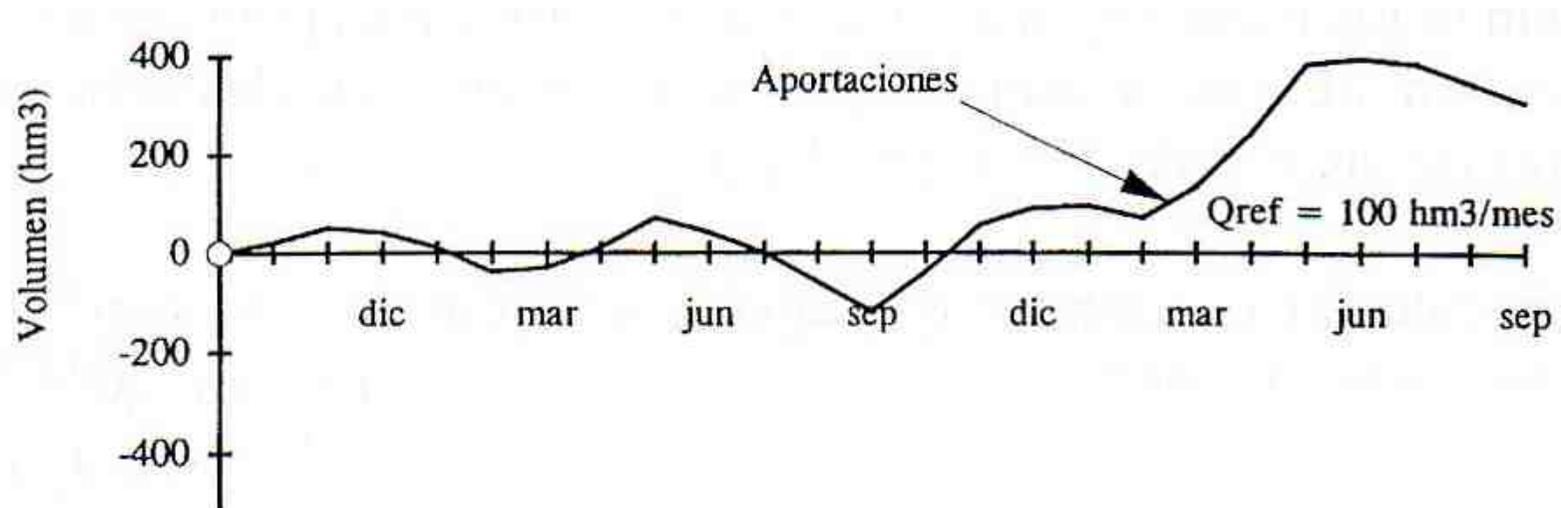
EJEMPLO

EJEMPLO 5.5 (Martín y Garrote, 2005)

Cálculo de déficits

Comparar la aportación dada (2 años) con la siguiente demanda: 40 hm³/mes desde octubre hasta marzo, 100 hm³/mes desde abril hasta junio, 200 hm³/mes en julio y agosto y 100 hm³/mes en septiembre.

Dibujar la curva de demanda servida y calcular el déficit del periodo





EJEMPLO

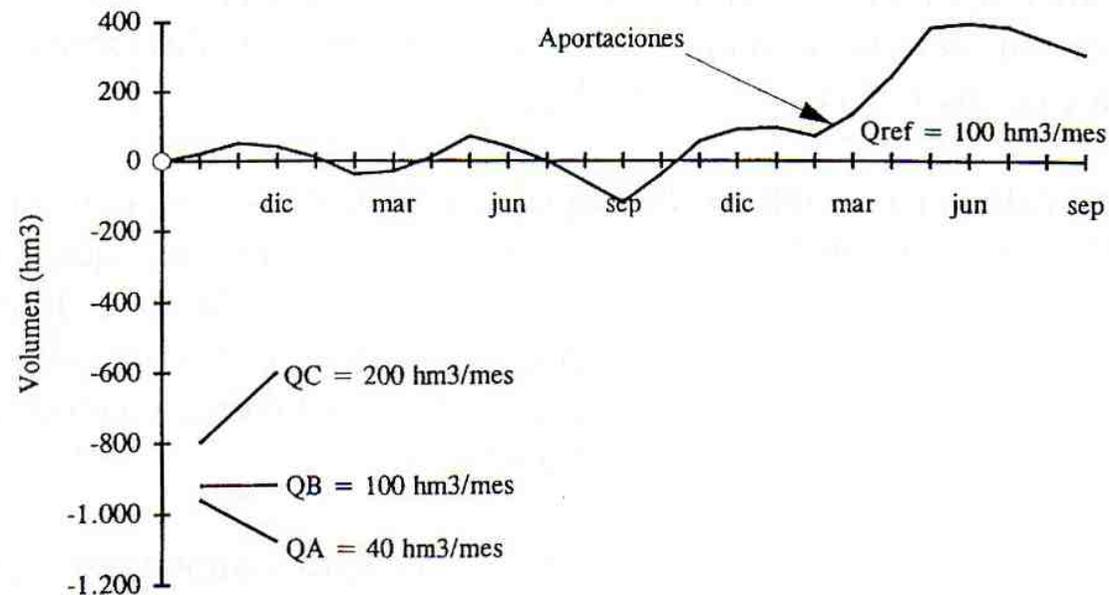
EJEMPLO 5.5 (Martín y Garrote, 2005)

Cálculo de déficits

En primer lugar se representan los caudales demandados mediante rectas con una determinada pendiente, teniendo en cuenta que en la gráfica nos indican que el Q_{ref} es de $100 \text{ hm}^3/\text{mes}$. Para ello aplicaremos la fórmula:

$$Q_{ref} - Q_A$$
$$= m_{ref} - m_A$$

Las pendientes obtenidas serán las siguientes
 $\rightarrow m_{40} = -60$
 hm^3/mes , $m_{100} = 0$
 hm^3/mes , $m_{200} = 100$
 hm^3/mes .



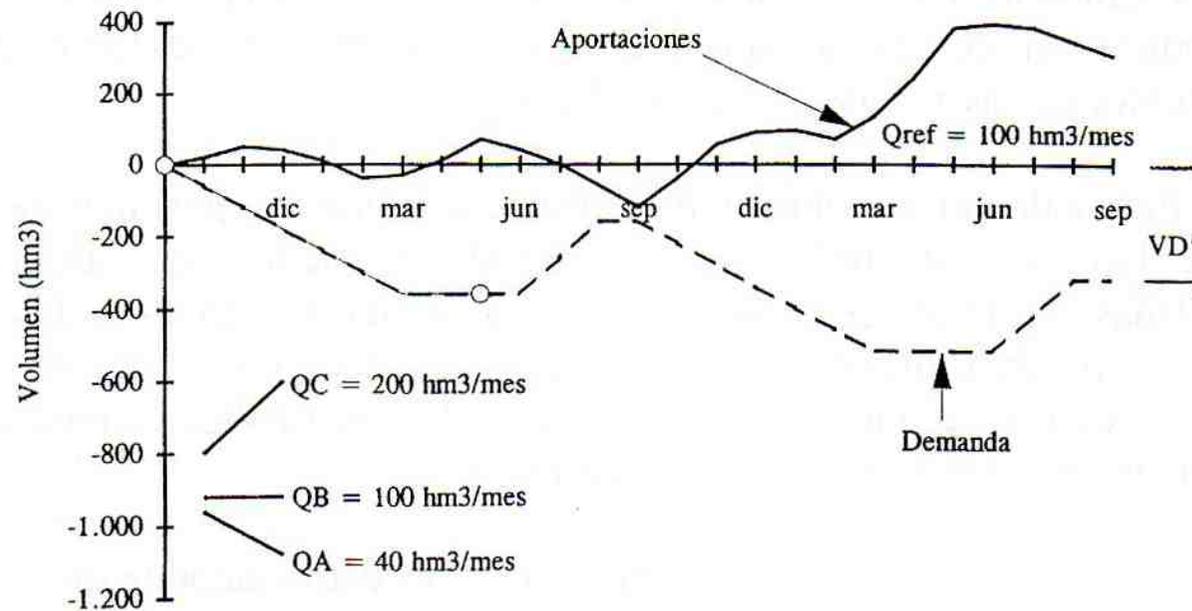


EJEMPLO

EJEMPLO 5.5 (Martín y Garrote, 2005)

Cálculo de déficits

A continuación se dibuja la CURVA DE DEMANDA trazando en cada mes la paralela a la recta de demanda que le corresponda. El primer punto es el origen de coordenadas. La demanda de un mes se dibuja a partir de donde acabó la demanda del mes anterior.





EJEMPLO

EJEMPLO 5.5 (Martín y Garrote, 2005)

Cálculo de déficits

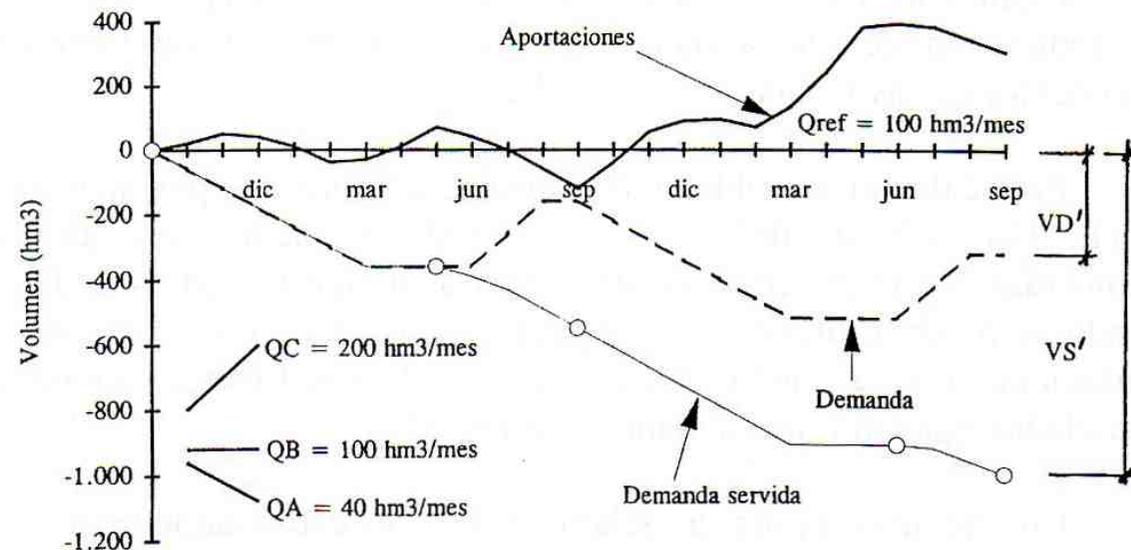
Se dibuja la CURVA DE DEMANDA SERVIDA, que está formada por líneas paralelas a la curva de demanda en los meses que se sirve toda la demanda (es decir, cuando $m_A \geq m_D$) o por líneas paralelas a la curva de aportación en los meses en que no se sirve toda la demanda (es decir, cuando $m_A < m_D$):

desde octubre hasta mayo → paralela a demanda

desde junio hasta septiembre → paralela a la aportación

desde octubre hasta junio → paralela a demanda

desde julio hasta septiembre → paralela a la aportación





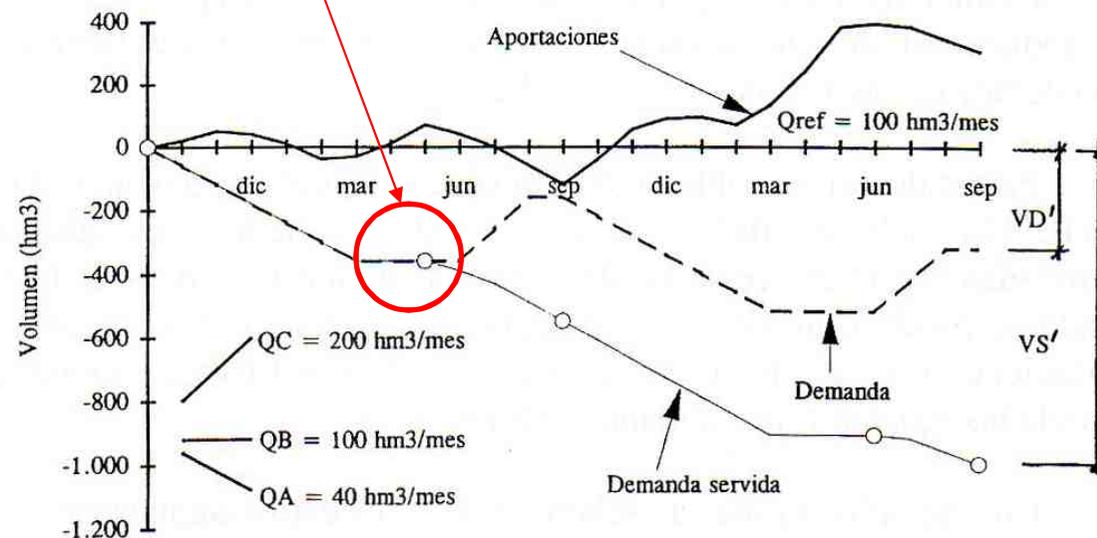
EJEMPLO

EJEMPLO 5.5 (Martín y Garrote, 2005)

Cálculo de déficits

La CURVA DE DEMANDA SERVIDA coincide con la CURVA DE DEMANDA hasta que se produce el primer déficit en el mes de junio

La diferencia entre el volumen total demandado (V_D) y el volumen total servido (V_S) es el déficit acumulado en ese periodo:



$$\text{Déficit} = V_D - V_S = V_D' - V_S' = (-320) - (-1000) = 680 \text{ hm}^3$$



Volumen de embalse

Cuando los recursos circulantes no son suficientes para satisfacer la demanda se produce un déficit, a menos que se empleen caudales adicionales (por ejemplo, los procedentes de un embalse).

Cálculo del volumen de un embalse → Comenzamos identificando los CICLOS DE DÉFICIT:

- Periodos de tiempo en los que las aportaciones acumuladas son inferiores a las demandas acumuladas.
- Comienzo → Cuando se produce un déficit cualquiera. A partir de ese momento se acumulan las aportaciones y se acumulan las demandas.
- Terminación → Cuando las aportaciones acumuladas igualan a las demandas acumuladas.





Obtención gráfica del máximo déficit acumulado de un ciclo de déficit → Diferencia de volumen entre dos series de caudales acumulados (la de demandas y la de aportaciones)

Solución para cada ciclo de déficit → Embalse cuyo volumen sea igual que el máximo déficit acumulado en ese ciclo de déficit.

Volumen de embalse necesario → El mayor de todos los volúmenes de déficit obtenidos.

Cuando el último ciclo de déficit no se cierra (acaba antes la curva de aportaciones), tenemos que distinguir dos casos:

- 1) *Curva de aportaciones finaliza porque no hay mas datos* → No puede cerrarse el ciclo de déficit ya que las siguientes aportaciones son desconocidas.
- 2) *Si la curva de aportaciones es una curva media o periódica* → Es necesario cerrar el ciclo de déficit, representando un nuevo periodo de aportaciones a partir del punto donde finaliza el periodo anterior.

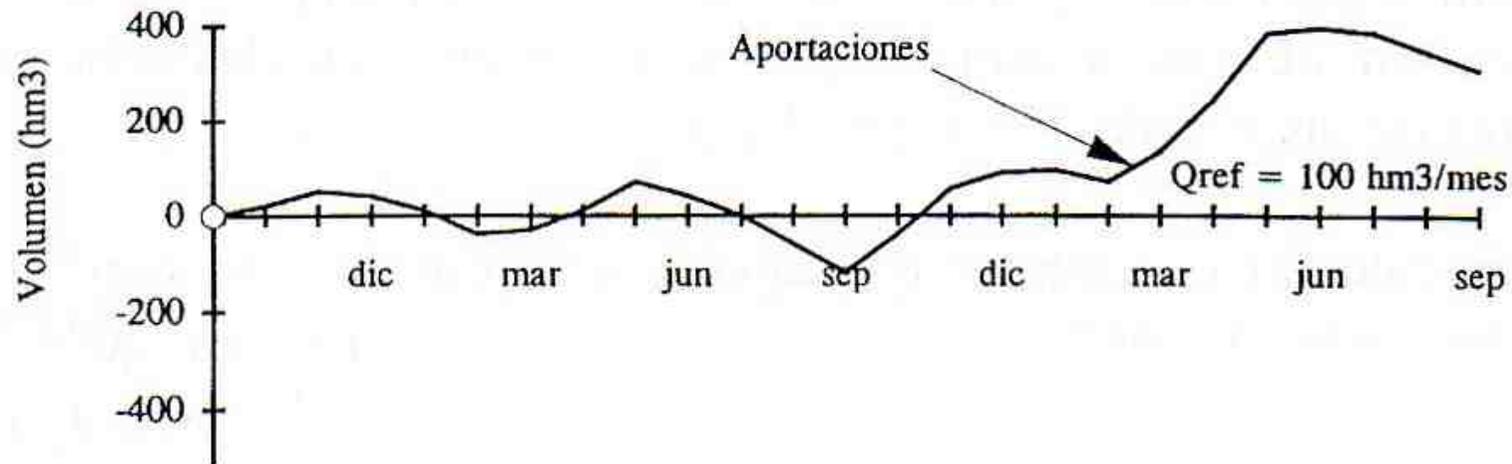


EJEMPLO

EJEMPLO 5.6 (Martín y Garrote, 2005)

Volumen de embalse

Con la aportación dada (2 años) y la siguiente demanda: 40 hm³/mes desde octubre hasta marzo, 100 hm³/mes desde abril hasta junio, 200 hm³/mes en julio y agosto y 100 hm³/mes en septiembre obtener el volumen de embalse necesario





EJEMPLO

EJEMPLO 5.6 (Martín y Garrote, 2005)

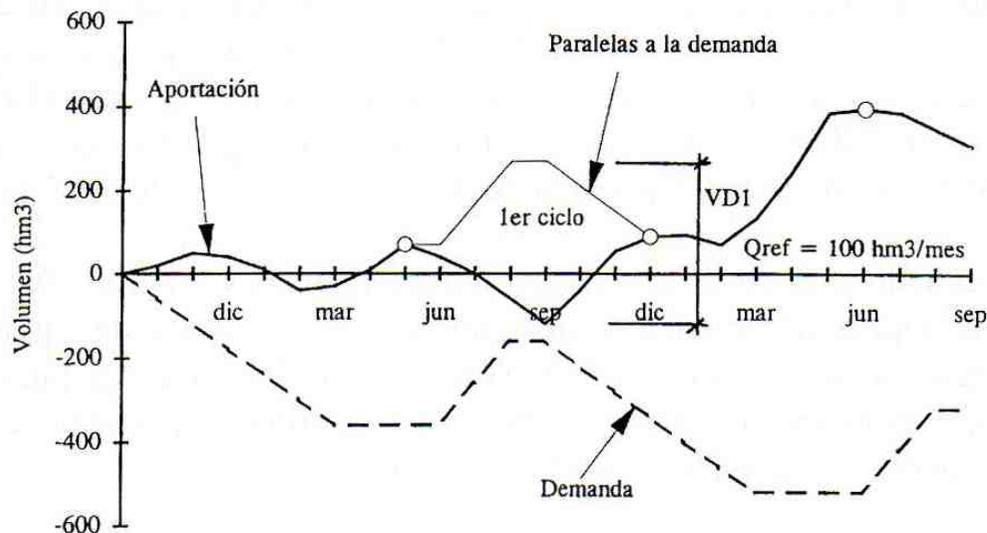
Volumen de embalse

Comenzamos localizando el comienzo del primer ciclo de déficit. El ciclo comienza en junio del primer año, cuando se produce el primer déficit (la curva de aportaciones tiene pendiente menor que la curva de demanda).

A partir de ese punto se dibujan las demandas acumuladas, para lo cual se traza una paralela a la curva de demanda.

Por tratarse de un ciclo de déficit, la paralela a la curva de demanda va por encima de la curva de aportaciones.

Se localiza el final del primer ciclo de déficit. El ciclo finaliza en diciembre del primer año, cuando la paralela a la curva de demanda corta a la curva de aportaciones





EJEMPLO

EJEMPLO 5.6 (Martín y Garrote, 2005)

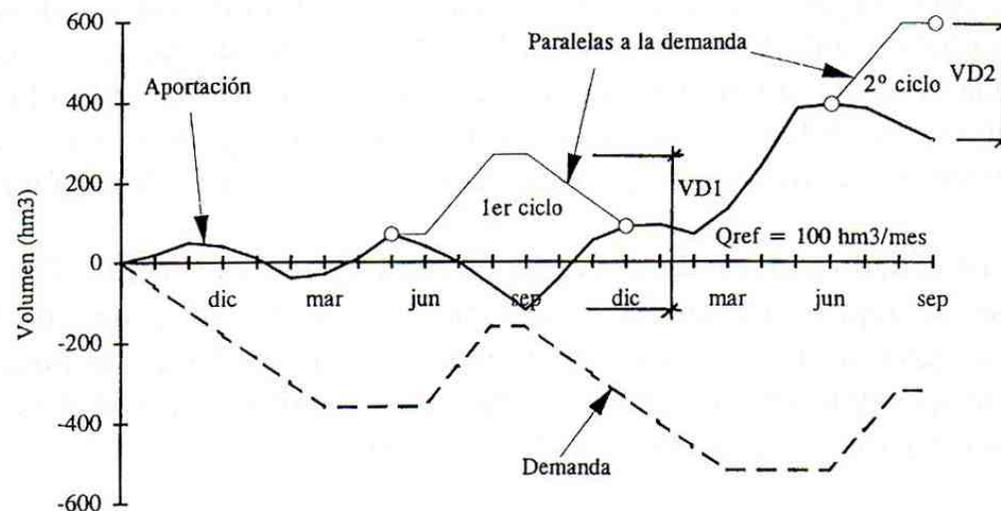
Volumen de embalse

A continuación se obtiene el déficit máximo de ese ciclo (V_{D1}), que es la máxima distancia vertical entre la paralela a la curva de demanda y la curva de aportaciones (se produce a final de septiembre). El volumen que se obtiene midiendo directamente en el eje de ordenadas es $V_{D1} = 390 \text{ hm}^3$.

Repetimos el proceso para el siguiente ciclo de déficit, que comienza en julio del segundo año y queda abierto. Se obtiene un déficit máximo de $V_{D2} = 290 \text{ hm}^3$.

El volumen de embalse necesario será el mayor de los dos volúmenes obtenidos en los ciclos de déficit

$$V_{embalse} = 390 \text{ hm}^3$$





Explotación de un embalse

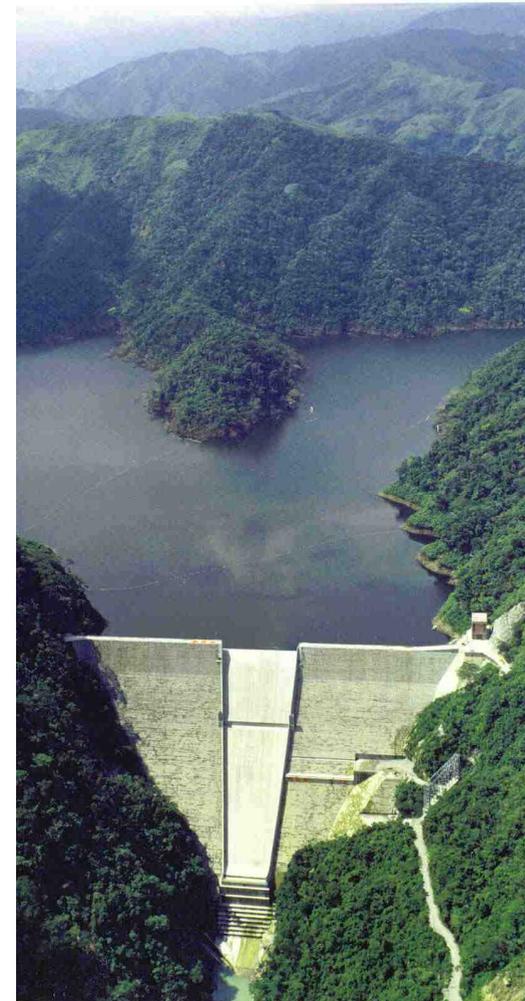
Los embalses son necesarios para salvar los ciclos de déficit.

El volumen de agua que las aportaciones circulantes no pueden satisfacer debe servirse a costa de una disminución en las reservas del embalse.

IMPORTANTE → Un determinado embalse sólo puede salvar los ciclos de déficit cuyo déficit máximo acumulado sea menor que la capacidad del embalse.

Representación → Un embalse se representa mediante dos paralelas a la curva de aportaciones, separadas una distancia igual a la capacidad del embalse (una de las paralelas puede ser la propia curva de aportaciones)

La curva inferior se denomina “embalse lleno” mientras que la superior se denomina “embalse vacío”.





La evolución de los volúmenes de un embalse se determina por la CURVA DE VACIADO (CV) del embalse. Para dibujar esta curva hay que tener en cuenta:

- 1) La CV se dibuja a partir del punto que indica el volumen inicial de reservas
- 2) La CV se mueve siempre entre las curvas de embalse lleno y vacío.

Entre estos extremos, la CV es paralela a la curva de demanda (sale del embalse el caudal necesario para satisfacer la demanda)

- 3) Cuando la CV corta a la curva de embalse lleno se produce vertido. A partir de ese punto la CV coincide con la curva de embalse lleno. El vertido dura hasta que la aportación sea inferior a la demanda, momento en el que el embalse empieza a vaciarse.
- 4) Cuando la CV corta a la curva de embalse vacío se produce déficit. A partir de ese punto, la CV coincide con la curva de embalse vacío. El déficit dura hasta que la aportación sea superior a la demanda, momento en el que el embalse comienza a llenarse.
- 5) El volumen de reserva en el embalse en un momento dado se obtiene leyendo directamente en el eje de ordenadas la distancia entre la curva de vaciado y la de embalse vacío.

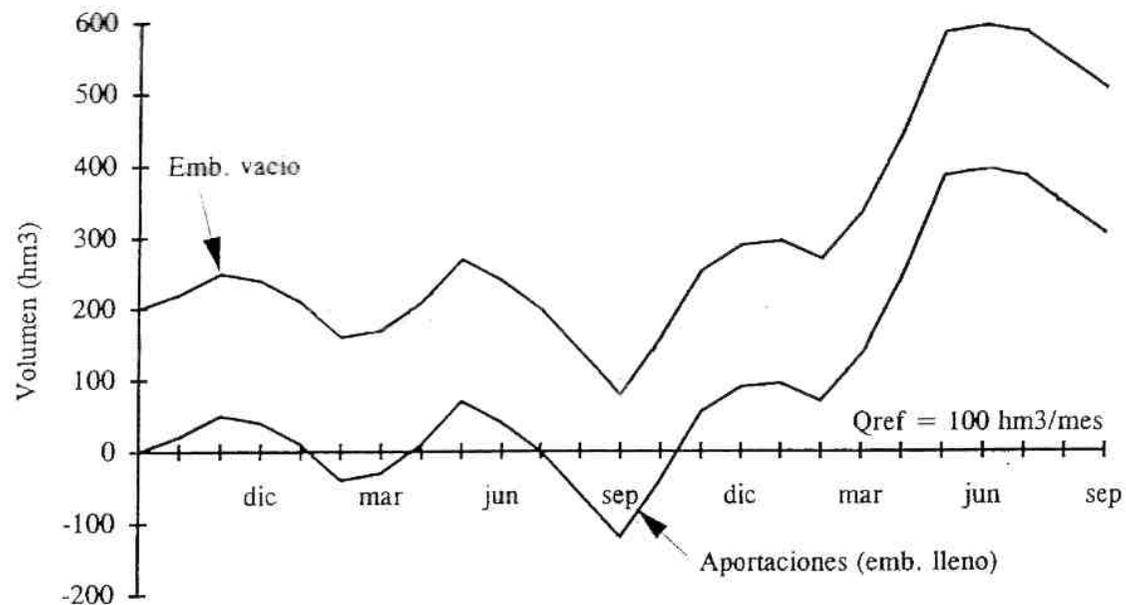


EJEMPLO

EJEMPLO 5.7 (Martín y Garrote, 2005)

Curva de vaciado

Dibujar la curva de vaciado de un embalse de 200 hm³, con 50 hm³ de llenado inicial, suponiendo las aportaciones del ejemplo anterior y una demanda constante de 110 hm³/mes.

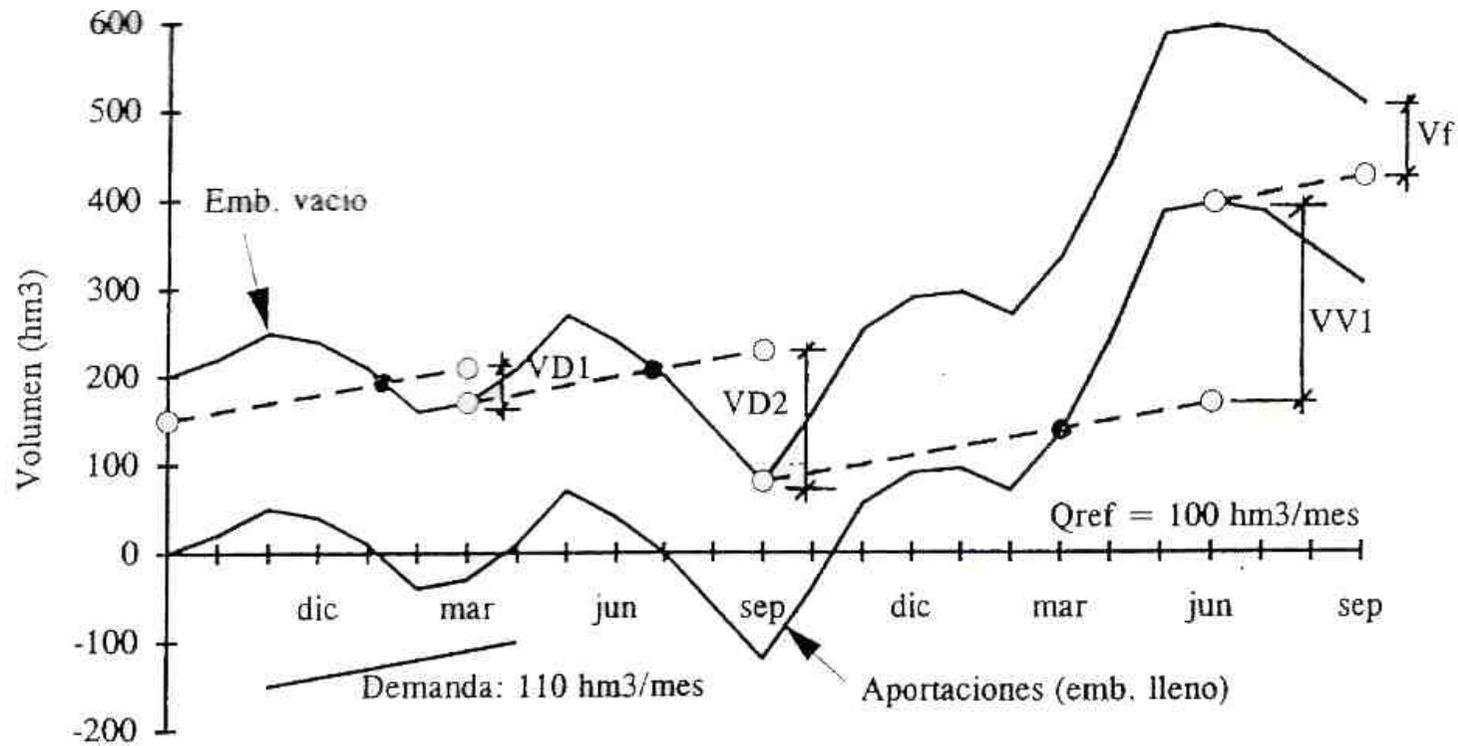




EJEMPLO

EJEMPLO 5.7 (Martín y Garrote, 2005)

Curva de vaciado





Capacidad de una balsa

La determinación de la capacidad de una balsa resulta de aplicar el balance, con las correspondientes entradas o salidas de flujo y su distribución temporal.

Otros factores a tener en cuenta a la hora de fijar la capacidad de una balsa son:

- Adecuada morfología del terreno → Equilibrio entre material extraído y utilizado en el dique, altura de secciones estructurales, etc.
- Disponibilidad de suelo → La dimensión máxima en planta de una balsa sólo queda limitada por la superficie disponible.
- Condicionantes económico-financieros → Existe una relación directa entre capacidad de embalse y presupuesto
- Condicionantes geotécnicos → Límite en la altura de la balsa para mantener las tensiones máx por debajo de las admisibles por el terreno
- Condicionantes climáticos → Control de las pérdidas por evapotranspiración
- Daños por desbordamiento y rotura → Capacidad compatible con daños asumibles



Capacidad de un depósito

Dado que el caudal de consumo de una población es esencialmente variable se necesita un dispositivo (depósito) que permita flexibilizar la explotación.

De esta forma, se define la **capacidad mínima** de un depósito como aquella que permite almacenar el agua sobrante cuando el caudal de consumo sea menor que el de abastecimiento y aportar la diferencia entre ambos en caso contrario.

Pero el depósito ha de cubrir también otras atenciones de gran importancia en el servicio como son:

- a) Proporcionar un suplemento de agua en caso de incendio.
- b) Atender las necesidades de la población en caso de reparaciones o averías que impliquen cortes en el caudal de abastecimiento.

Se define, por tanto, **capacidad media normal** de un depósito a la requerida para hacer frente, de forma prudencial, a las necesidades anteriormente señaladas.

Por último, se define la **capacidad máxima** de un depósito como aquella que cubre riesgos extraordinarios ocasionados por una avería grave.



Cuando hablamos de la capacidad de un depósito se debe entender como capacidad útil (no conviene tomar el agua muy cerca del fondo por la posibilidad de acumulación de sedimentos).

Para determinar la capacidad mínima de un depósito es preciso disponer de datos seguros acerca de la variación del consumo durante el día de máximo gasto, precisando si el caudal fluye continua y uniformemente durante las 24 horas (tomas de manantial), o sólo durante un cierto número de horas (bombeos).

Existen otros factores que introducen un coeficiente de seguridad que mayor o menor la capacidad del depósito:

- Existencia de fuentes alternativas de suministro
- Grado de supervisión y control a distancia
- Relación entre punta horaria y caudal medio horario
- Tiempo estimado para la reparación de una rotura en la red de abastecimiento aguas arriba del depósito
- Existencia de conducción simple o doble hacia el depósito y su longitud



La capacidad es, por tanto, un volumen mínimo suficiente para el equilibrio entre alimentación y consumo durante 24 horas. Sin embargo, es aconsejable que el volumen del depósito sea igual al consumo en 24 horas si se trata de grandes poblaciones o de 48 horas para poblaciones pequeñas, garantizando el suministro en caso de fallo en el sistema de alimentación, con el mencionado volumen de reserva en caso de incendio.

En cualquier caso, la capacidad no deberá ser nunca inferior a la necesaria para cubrir el consumo de 12 horas.

Con carácter orientativo, la capacidad de un depósito en función del número de habitantes se indica en la tabla siguiente, siendo C el consumo medio diario previsto del día de máximo consumo en el periodo de diseño del depósito.

Habitantes	Capacidad
< 6 000	C
6 000 - 12 000	$4/3 C$
12 000 - 250 000	C
> 250 000	$C/2$

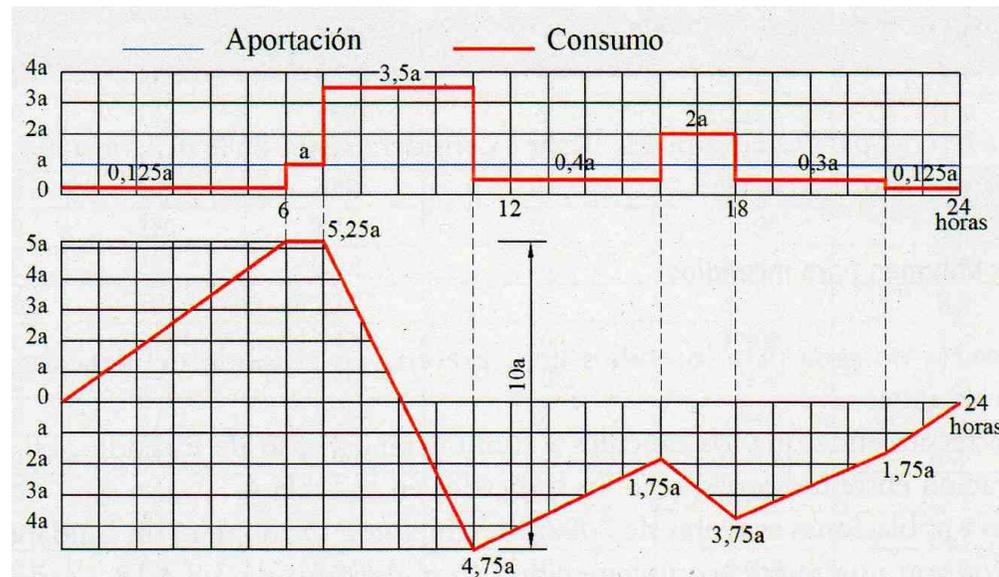


Volumen de regulación

Para el estudio de la capacidad de regulación del depósito es imprescindible conocer o fijar como hipótesis la variación del consumo diario y estacional, así como el régimen de alimentación del depósito.

Partiendo de los caudales afluentes y efluentes, se calcularán las diferencias en cada intervalo considerado. La máxima diferencia será la capacidad teórica necesaria a disponer. Los cálculos pueden realizarse gráficamente.

Siendo a el caudal horario medio de aportación y conociendo las leyes de aportaciones y consumos, obtendríamos un volumen teórico de $10a$





Volumen para averías

Para garantizar el suministro en caso de avería, el depósito deberá contar con un almacenamiento equivalente al tiempo preciso para reparar la avería, sin suspender el suministro de agua.

La capacidad suplementaria de reserva a adoptar dependerá del coeficiente de seguridad que quiera darse a la instalación.

En ciudades grandes es de esperar una mayor rapidez en la reparación de averías que en pequeñas poblaciones, por lo que el coeficiente de seguridad podrá reducirse al mínimo.

La reserva para este fin puede llegar a considerarse de hasta un 25% del consumo máximo diario previsto.



Greaves Hall (Lancashire, Reino Unido)



Volumen para incendios

La reserva de agua para incendios debe preverse en el fondo del depósito, bajo la toma de agua.

En general, y de forma aproximada, el caudal a suministrar para incendios vendrá dado por la siguiente fórmula:

$$Q_i = 64\sqrt{P}(1 - 0,01\sqrt{P})$$

siendo

Q_i el caudal a suministrar para incendios (l/s) y

P la población (miles de habitantes).

En la práctica, se admite que en redes pequeñas se disponga de una reserva para incendios de 120 m³, recomendándose que, en cualquier caso, esta reserva no sea inferior a 60 m³.



7. BIBLIOGRAFÍA

BALAIRÓN PÉREZ, L. *Gestión de recursos hídricos*. 2ª ed. Barcelona: Ediciones UPC, 2002. 492 p. ISBN: 978-84-8301-626-8

CEH-CEDEX. *Guía técnica sobre depósitos para abastecimiento de agua potable*. Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento, 2010. 187 p. ISBN : 978-84-7790-513-4.

GARCÍA GALIANO, S. et al. *Máster Universitario en planificación y gestión de recursos hídricos Volumen I*. Murcia: CEMACAM, 2005. 656 p.

HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Abastecimiento y distribución de aguas*. 4ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2000. 914 p. Colección Señor nº 6. ISBN: 84-380-0165-3

MARTÍN CARRASCO, F. J. y GARROTE DE MARCOS, L. *Dimensionamiento y optimización de obras hidráulicas*. 3ª edición. Madrid: Servicio de publicaciones del CICCP, 2005. 139 p. ISBN: 84-380-0310-2005.



REFERENCIA DE IMÁGENES

DIAPOSITIVA PORTADA

[Imagen tomada de] “*Cane Creek Reservoir*”. *Chapel Hill & Orange County* [en línea]. Disponible en: <http://www.visitchapelhill.org/images/uploads/places/cane_creek_reservoir_10_31_07_aerial_as.jpg> [Consulta: 15 de mayo de 2015]

DIAPOSITIVA página 3

[Imagen tomada de] “ЧП на гидроэлектростанциях России в 2001-2010”. *Partnery* [en línea]. Disponible en: <http://pic1.dbw.cn/0/00/27/49/274919_200941.jpg> [Consulta: 15 de mayo de 2015]

DIAPOSITIVA página 6

“Cleddau River” [Imagen tomada de] *Rolf Hicker - Animal, Nature & Travel Photography* [en línea]. Disponible en: <<http://www.hickerphoto.com/images/1024/cleddau-river-55959.jpg>> [Consulta: 19 de mayo de 2015]

DIAPOSITIVA página 7

“Garantías mensual y anual suponiendo una serie de datos de 10, 20, 50 o 100 años”. En: BALAIRÓN PÉREZ, L. *Gestión de recursos hídricos*. 2ª ed. Barcelona: Ediciones UPC, 2002. 492 p. ISBN: 978-84-8301-626-8. Página 219

DIAPOSITIVA página 11

“Índices basados en la severidad de los fallos”. En: BALAIRÓN PÉREZ, L. *Gestión de recursos hídricos*. 2ª ed. Barcelona: Ediciones UPC, 2002. 492 p. ISBN: 978-84-8301-626-8. Página 222



“Índices basados en la ocurrencia de los fallos”. En: BALAIRÓN PÉREZ, L. *Gestión de recursos hídricos*. 2ª ed. Barcelona: Ediciones UPC, 2002. 492 p. ISBN: 978-84-8301-626-8. Página 222

DIPOSITIVA página 12

“Dam of the Clywedog reservoir” [Imagen tomada de] *Lakes and reservoirs* [en línea]. Disponible en: <http://www.euwfd.com/assets/images/Surface_water_des02.jpg> [Consulta: 19 de mayo de 2015]

“Índices basados en la severidad de los fallos en España”. En: BALAIRÓN PÉREZ, L. *Gestión de recursos hídricos*. 2ª ed. Barcelona: Ediciones UPC, 2002. 492 p. ISBN: 978-84-8301-626-8. Página 223

DIPOSITIVA página 13

[Imagen tomada de] “Garantía de abastecimiento en Cádiz”. *CONSTRUTEC* [en línea]. Disponible en: <http://www.construtec.es/default/imagenes/1640_1-conduccion-zmu-en-costa-ballena-cadiz-M.jpg> [Consulta: 20 de mayo de 2015]

DIPOSITIVA página 15

[Imagen tomada de] “Pesca en el embalse de Alcántara” [blog] *Arco de Trajano* [en línea]. 19 de noviembre de 2012. Disponible en: <<http://www.casaruralarcodetrajano.es/wp-content/uploads/2012/11/pesca-embalse-alcantara.jpg>>. [Consulta: 23 de mayo de 2015]

DIPOSITIVA página 16

[Imagen tomada de] “Who builds a reservoir on the top of a mountain? We do. Twice” [blog] *IMGUR* [en línea]. marzo de 2011. Disponible en: <<http://i.imgur.com/bN1fl.jpg>>. [Consulta: 22 de mayo de 2015]



DIPOSITIVA página 17

“Depósito de San Miguel de Salinas” © Francisco Javier Pérez de la Cruz

DIPOSITIVA página 19

“Distribución anual de los recursos y demandas en un embalse para riego”. En: MARTÍNEZ ÁLVAREZ, V. “Obras de regulación. Regulación anual e interanual”. *Máster Universitario en planificación y gestión de recursos hídricos Volumen I*. Murcia: CEMACAM, 2005. 656 p. Página 428

DIPOSITIVA página 20

“Determinación gráfica de la capacidad de embalse”. En: MARTÍNEZ ÁLVAREZ, V. “Gestión del suministro hídrico y concepto de garantía”. *Máster Universitario en planificación y gestión de recursos hídricos Volumen I*. Murcia: CEMACAM, 2005. 656 p. Página 420

DIPOSITIVA página 22

[Imagen tomada de] “Paramentos de las presas de materiales sueltos” [blog] *Ingeniero de Caminos* [en línea] Disponible en: <http://farm6.static.flickr.com/5138/5429947510_0bc8a65838.jpg>. [Consulta: 29 de mayo de 2015]

DIPOSITIVA página 23

“Aportaciones históricas de la CH del Júcar (periodo 1940/2005)” [Imagen tomada de] *CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR* (2007) “Plan especial de alerta y eventual sequía en la Confederación Hidrográfica del Júcar” [en línea]. Disponible en: <http://www.chj.es/es-es/medioambiente/gestionsequia/Documents/Plan%20Especial%20Alerta%20y%20Eventual%20Sequia/PES_Marzo_2007.pdf>. [Consulta: 29 de mayo de 2015]



DIPOSITIVA página 24

“Evolution of Global Water Use and Industrial and Domestic Consumption” [Imagen tomada de] “Water use and management”. *UNEP* [en línea]. Disponible en:
<http://pm22100.net/pages/enercoop/01_dossiers /unep-water/09-wateruse-sector.jpg>. [Consulta: 29 de mayo de 2015]

DIPOSITIVA página 25

[Imagen tomada de] “Map-Based Schematic”. *HEC-ResSim. Features* [en línea]. Disponible en:
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ressim/images/HEC-ResSim_Schematic.png>. [Consulta: 29 de mayo de 2015]

[Imagen tomada de] “MIKE Basin”. *GIS and water resource modelling at DHI* [en línea]. Disponible en:
<http://www.crwr.utexas.edu/gis/gishyd98/dhi/mikebas/images/Mbas_10.gif>. [Consulta: 29 de mayo de 2015]

DIPOSITIVA página 29

[Imagen tomada de] MARTÍN CARRASCO, F. J. y GARROTE DE MARCOS, L. *Dimensionamiento y optimización de obras hidráulicas*. 3ª edición. Madrid: Servicio de publicaciones del CICCP, 2005. 139 p. ISBN: 84-380-0310-2005. Página 3

DIPOSITIVAS páginas 30 y 31

[Imagen tomada de] MARTÍN CARRASCO, F. J. y GARROTE DE MARCOS, L. *Dimensionamiento y optimización de obras hidráulicas*. 3ª edición. Madrid: Servicio de publicaciones del CICCP, 2005. 139 p. ISBN: 84-380-0310-2005. Página 4



DIPOSITIVA página 32

[Imagen tomada de] MARTÍN CARRASCO, F. J. y GARROTE DE MARCOS, L. *Dimensionamiento y optimización de obras hidráulicas*. 3ª edición. Madrid: Servicio de publicaciones del CICCP, 2005. 139 p. ISBN: 84-380-0310-2005. Página 5

DIPOSITIVA página 34

[Imagen tomada de] MARTÍN CARRASCO, F. J. y GARROTE DE MARCOS, L. *Dimensionamiento y optimización de obras hidráulicas*. 3ª edición. Madrid: Servicio de publicaciones del CICCP, 2005. 139 p. ISBN: 84-380-0310-2005. Página 6

DIPOSITIVA página 35

[Imagen tomada de] MARTÍN CARRASCO, F. J. y GARROTE DE MARCOS, L. *Dimensionamiento y optimización de obras hidráulicas*. 3ª edición. Madrid: Servicio de publicaciones del CICCP, 2005. 139 p. ISBN: 84-380-0310-2005. Página 7

DIPOSITIVAS páginas 37 y 38

[Imagen tomada de] MARTÍN CARRASCO, F. J. y GARROTE DE MARCOS, L. *Dimensionamiento y optimización de obras hidráulicas*. 3ª edición. Madrid: Servicio de publicaciones del CICCP, 2005. 139 p. ISBN: 84-380-0310-2005. Página 8

DIPOSITIVA página 39

[Imagen tomada de] “Embalse de Cillaperlata (Burgos)” [blog] *Porque no sólo de curvas...* [en línea] 11 de noviembre de 2008. Disponible en: <<http://www.gabyrulo.es/fotos/cilla01.JPG>>. [Consulta: 29 de mayo de 2015]



DIPOSITIVA página 42

[Imagen tomada de] MARTÍN CARRASCO, F. J. y GARROTE DE MARCOS, L. *Dimensionamiento y optimización de obras hidráulicas*. 3ª edición. Madrid: Servicio de publicaciones del CICCP, 2005. 139 p. ISBN: 84-380-0310-2005. Página 10

DIPOSITIVAS páginas 44 a 48

[Imagen tomada de] MARTÍN CARRASCO, F. J. y GARROTE DE MARCOS, L. *Dimensionamiento y optimización de obras hidráulicas*. 3ª edición. Madrid: Servicio de publicaciones del CICCP, 2005. 139 p. ISBN: 84-380-0310-2005. Página 13

DIPOSITIVA página 49

[Imagen tomada de] "La reserva hidráulica española se encuentra al 64,7% de su capacidad total" [blog] *Blog del agua* [en línea] 6 de febrero de 2013. Disponible en: <http://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/02/EMBALSE_DE_EBRO_DESAGUANDO.jpg>. [Consulta: 30 de mayo de 2015]

DIPOSITIVAS página 51 a 53

[Imagen tomada de] MARTÍN CARRASCO, F. J. y GARROTE DE MARCOS, L. *Dimensionamiento y optimización de obras hidráulicas*. 3ª edición. Madrid: Servicio de publicaciones del CICCP, 2005. 139 p. ISBN: 84-380-0310-2005. Página 15

DIPOSITIVA página 54

[Imagen tomada de] "Hidroeléctricas en la Amazonia". *Alianza, clima y desarrollo* [en línea] Disponible en: <http://cdkn.org/wp-content/uploads/2011/10/embalse_grandes-presas.jpg>. [Consulta: 30 de mayo de 2015]



DIPOSITIVAS página 56 y 57

[Imagen tomada de] MARTÍN CARRASCO, F. J. y GARROTE DE MARCOS, L. *Dimensionamiento y optimización de obras hidráulicas*. 3ª edición. Madrid: Servicio de publicaciones del CICCP, 2005. 139 p. ISBN: 84-380-0310-2005. Página 18

DIPOSITIVA página 61

“Cálculo gráfico del volumen de regulación de un depósito”. En: CEH-CEDEX. *Guía técnica sobre depósitos para abastecimiento de agua potable*. Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento, 2010. 187 p. ISBN : 978-84-7790-513-4. Página 85.

DIPOSITIVA página 62

“Greaves Hall water tower” [Imagen tomada de] “Water tower”. *Wikipedia, the free encyclopedia* [en línea]. 8 de abril de 2011. Disponible en: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a4/Greaves_Hall_water_tower_%282%29.JPG>. [Consulta: 9 de abril de 2011]

DIPOSITIVA página 64 y sucesivas

“Vaso de agua y no vaso con agua” [Imagen tomada de] “Vaso de agua”. *Generación* [en línea]. Disponible en: <<http://www.generacion.com/usuarios/variados/imagenes/959.jpg>>. [Consulta: 13 de junio de 2011]

DIPOSITIVA página 68

[Imagen tomada de] “Premio Nacional de Poesía Plaza Porticada de Garrovillas de Alconétar” [blog] *Blog de Joaquín Sarró Silva* [en línea] 23 de enero de 2014. Disponible en: <<http://www.casauralarcodetrajano.es/wp-content/uploads/2013/05/Garrovillas-de-Alconetar.jpg>>. [Consulta: 29 de mayo de 2015]



DIPOSITIVAS página 75

[Imagen tomada de] “Agricultura prepara una normativa para reforzar la seguridad en balsas de riego”. *La red comarcal* [en línea]. 11 de noviembre de 2013. Disponible en:
<http://laredcomarcal.com/upload/img/periodico/img_10333.jpg> [Consulta: 11 de julio de 2015]

DIPOSITIVA página 79

[Imagen tomada de] “Riego”. *Impermatiz* [en línea]. Disponible en:
<<http://www.impermatiz.com/images/balsa-de-riego-2.jpg>> [Consulta: 11 de julio de 2015]