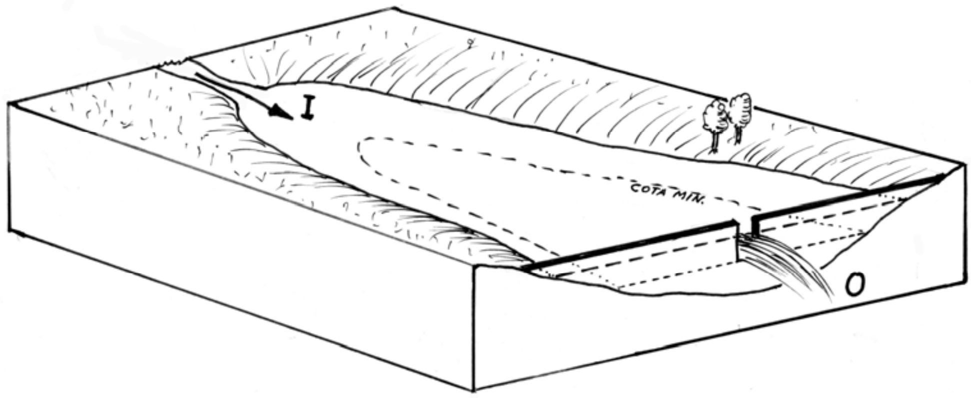
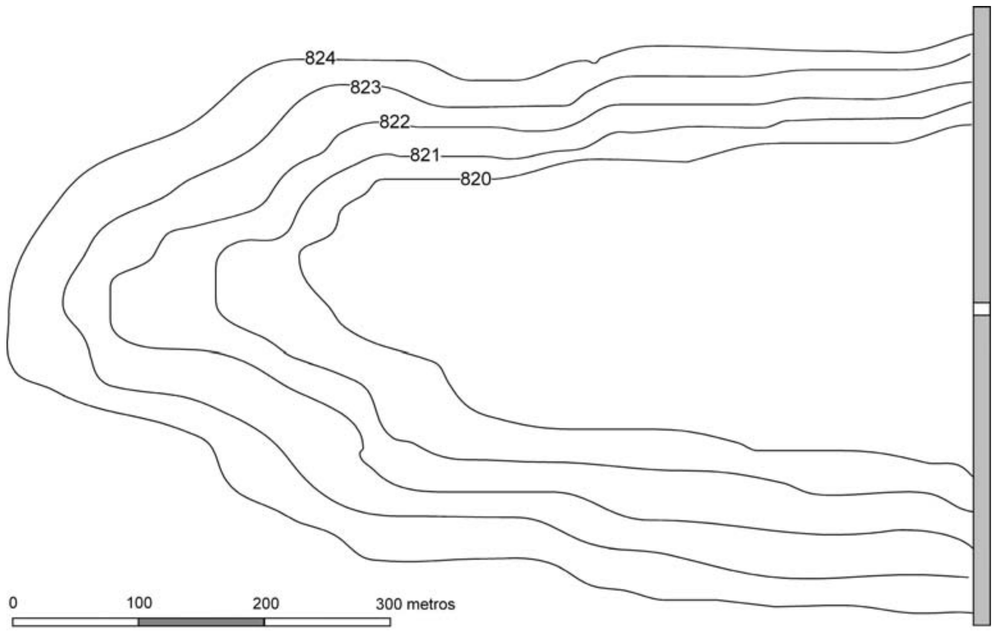
Tránsito de un hidrograma a través de un embalse pequeño con salida libre rectangular

Consideramos el embalse esquematizado en la figura; es un embalse no regulado y la salida se produce por un vertedero rectangular de 10 metros de ancho y situado a cota 820. La cota mínima del nivel de agua es la base del vertedero y el caudal será proporcional a la altura del agua sobre ese nivel.

El volumen almacenado en un momento dado será el comprendido entre la cota mínima y el nivel del agua en ese momento, sin tener en cuenta el volumen que pueda existir por debajo de la cota 820



Disponemos de la topografía detallada del embalse:



1. Relación "volumen almacenado *vs.* altura"

En la tabla siguiente calculamos los volúmenes almacenados hasta las distintas cotas:

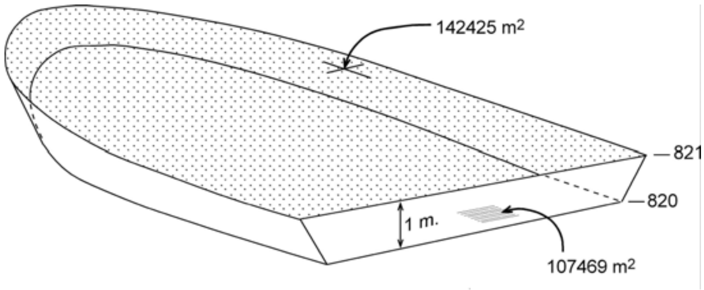
curva	Sup (m^2)	Volumen (m^3)		Altura sobre la salida (m)
820	107.469		0	0
821	142.425	$1\cdot$(142.425+107.469)/2=	124.947	1
822	182.259	$1\cdot$(182.259+142.425)/2+124.947=	287.289	2
823	228.078	$1\cdot$(228.078+182.259)/2+287.289=	492.458	3
824	278.190	$1\cdot$(278.190+228.078)/2+492.458=	745.592	4

La segunda columna se consigue planimetrando la superficie comprendida dentro de cada curva de nivel y convirtiéndola a m^2 de acuerdo con la escala del mapa.

En la tercera columna se calcula el volumen almacenado **hasta cada curva** de nivel.

Para calcular el volumen **entre dos curvas** el cálculo es el siguiente:

Volumen entre las cotas 820 y 821=
= (142.425+107.469)/2 · 1 = 124.947 m^3
[Como el volumen de un cilindro: base · altura. Aquí la base es la semisuma de las áreas comprendidas dentro de cada curva y la altura es la equidistancia entre curvas, en este ejemplo, 1 metro]



Ahora calculamos los volúmenes **hasta cada curva**:

- Volumen almacenado **hasta la cota 821** = Volumen entre las cotas 820 y 821= (142.425+107.469)/2 · 1 = 124.947 m^3
- Volumen **hasta la cota 822 =** vol. hasta 821 + vol. entre las cotas 821 y 822 =
  = 124.947 + (182.259+142.425)/2 · 1 = 287.289 m^3

2. Relación "Caudal de salida *vs.* altura"

La relación entre la altura (sobre el nivel de salida) y el caudal puede haberse obtenido con medidas reales o proceder de una estimación. En este ejemplo, hemos utilizado la siguiente ecuación:

$$Q = 1{,}84\,(b - 0{,}2\,H) \cdot H^{3/2}$$

donde*:* Q = caudal (m^3/s)
b = anchura de la abertura rectangular (metros)
H = altura del agua sobre la base de la abertura rectangular (metros)

Aplicando esta expresión para alturas sucesivas, obtenemos la tabla adjunta:

cota	***H***	***O* (m3/s)**
820	0	0.00
821	1	18,0
822	2	50,0
823	3	89,9
824	4	135,4

3. Relación "Caudal de salida *vs.* ($2S_i/\Delta t$)+O_i"

Si ponemos en común las dos tablas anteriores, resultan las cuatro primeras columnas de esta tabla:

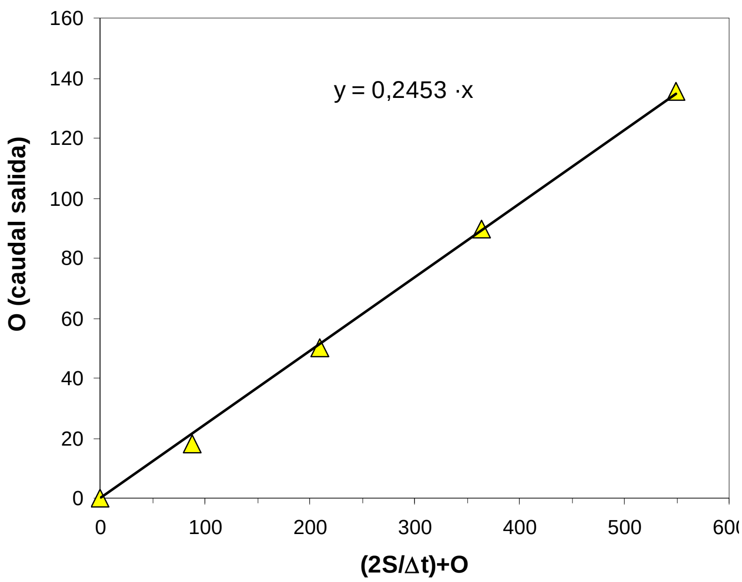
cota	***H***	***O* (m^3/s)**	**Volumen (m^3)**	**(2*S*/Δ*t*)+*O***
820	0	0,0	0	0,000
821	1	18,0	124.947	87,45
822	2	50,0	287.289	209,57
823	3	89,9	492.458	363,46
824	4	135,4	745.592	549,64

La última columna se calcula a partir de las dos anteriores, utilizando como **Δt** el mismo de los caudales cuyo tránsito queremos calcular. En este ejemplo, disponemos de caudales cada hora, así que tomaremos Δt = 1 hora = 3600 segundos.

Por ejemplo, para la segunda fila:, el calculo será así:

(2*S*/Δ*t*)+*O* = (2 · 124947 / 3600) + 18 = 87,4

Con esta tabla establecemos la relación fundamental entre el caudal de salida y (2*S*/Δ*t*)+*O* . En la siguiente fase de trabajo, a partir de un valor de **(2*S*/Δ*t*)+*O*** debemos obtener el correspondiente valor de ***O***. Puede hacerse leyendo un gráfico, utilizando la ecuación que refleje la citada



relación, o interpolando entre dos puntos. En este ejemplo, la relación ha resultado casi lineal (no es lo habitual) y la sencilla ecuación de la recta nos permitirá aplicar esta relación.

4. Tránsito del caudal

Se desea calcular el tránsito del caudal de entrada que figura en la tercera columna de la tabla:

i	tiempo (horas)	I (m3/s)	$I_{i-1}+I_i$	Ec. (14) $2S_i/\Delta t+O_i$	O(m3/s)	Ec. (15) $2S_i/\Delta t-O_i$
0	0	**0,00**		0	0	0,00
1	1	**70,00**	70,00	70,00	**17,17**	35,66
2	2	**185,00**	255,00	290,66	**71,30**	148,06
3	3	**90,00**	275,00	423,06	**103,78**	215,51
4	4	**45,00**	135,00	350,51	**85,98**	178,55
5	5	**20,00**	65,00	243,55	**59,74**	124,06
6	6	**0,00**	20,00	144,06	**35,34**	73,39
7	7	**0,00**	0,00	73,39	**18,00**	37,38
8	8	**0,00**	0,00	37,38	**9,17**	19,04
9	9	**0,00**	0,00	19,04	**4,67**	9,70
10	10	**0,00**	0,00	9,70	**2,38**	4,94
11	11	**0,00**	0,00	4,94	**1,21**	2,52
12	12	**0,00**	0,00	2,52	**0,62**	1,28

En el momento inicial, no existe caudal de entrada (I) y el nivel del agua dentro del embalse alcanzaba la base del vertedero, por lo que no había caudal de salida O.

El cálculo es igual al ejemplo mostrado en el tema “Tránsito de hidrogramas”, y los números de ecuaciones que se indican se refieren a ese tema:

Columna 4ª: se calcula simplemente sumando el caudal de entrada de ese tiempo con el caudal de entrada del tiempo anterior. Por ejemplo, para i = 2: 70 + 185 = 255

Columna 5ª: Se calcula con la ecuación (14):

$$\left(\frac{2S_i}{\Delta t}+O_i\right)=\left(I_{i-1}+I_i\right)+\left(\frac{2S_{i-1}}{\Delta t}-O_{i-1}\right)$$

Por ejemplo para i = 2: 290,66 = 255,00 + 35,66

Columna 6ª: El caudal de salida lo obtenemos de la relación que hemos encontrado en el punto 3, y que en este ejemplo se concretaba en la ecuación: $O = [(2S/\Delta t)+O] \cdot 0{,}2543$
(Si la relación no corresponde a ninguna ecuación, se lee el gráfico que refleja dicha relación).

Columna 7ª: Se obtiene mediante la ecuación (15):

$$\left(\frac{2S_i}{\Delta t}-O_i\right)=\left(\frac{2S_i}{\Delta t}+O_i\right)-2O_i$$

Por ejemplo para i = 2:
148,06 = 290,66 – 2 · 71,30

En la figura se representan los caudales de entrada y salida: